

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE DIFERENTES ENVOLTÓRIAS PARA  
HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS**

LETICIA DALPAZ DE AZEVEDO

Florianópolis

2018

Leticia Dalpaz de Azevedo

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE DIFERENTES ENVOLTÓRIAS PARA  
HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Engenheira Civil.

Área: Construção Civil

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, Ph.D.

Coorientador: Eng. Matheus Soares Geraldi, M.

Florianópolis

2018

#### Ficha de identificação da obra

Azevedo, Leticia. Avaliação do ciclo de vida de diferentes envoltórias para habitações de interesse social na cidade de Florianópolis / Leticia Dalpaz de Azevedo; orientador, Enedir Ghisi, coorientador, Matheus Soares Geraldi. 120 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, SC.

Inclui referências.

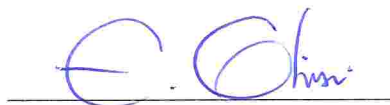
1. Engenharia Civil. 2. Área: Construção Civil. 3. Sustentabilidade em Edificações. I. Ghisi, Enedir. II. Soares Geraldi, Matheus. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. IV. Avaliação do ciclo de vida de diferentes envoltórias para habitações de interesse social na cidade de Florianópolis.

Leticia Dalpaz de Azevedo

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE DIFERENTES ENVOLTÓRIAS PARA  
HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi defendido e julgado adequado como parte dos  
requisitos para obtenção do Título de Engenheira Civil

Prof. Wellington Longuini Repette, Dr.  
Chefe do Departamento de Engenharia Civil da UFSC



Prof. Enedir Ghisi, Ph.D.

Orientador

**Banca Examinadora:**



Eng. Matheus Soares Geraldi, MSc.

Coorientador

Prof<sup>a</sup>. Liseane Padilha Thives, Dr<sup>a</sup>.

Eng. Ricardo Forgiarini Rupp, Dr.



## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Ivete, por me guiar, me inspirar e me motivar ao longo de toda minha trajetória com as palavras mais doces e simples que se pode desejar ouvir. À minha irmã, Larissa, por ser minha companheira de vida com quem compartilho as experiências mais livres e puras. À minha tia, Kika, por toda sabedoria e criatividade compartilhada e por trazer mais luz à nossa moradia. À Katita, minha irmã mais nova, companheira de travessuras e de muitas noites de estudo. À toda minha família, por todo amor e carinho.

Ao meu orientador, Enedir Ghisi, por todo conhecimento compartilhado ao longo de toda minha graduação, pelas suas excelentes aulas e seu profissionalismo que enriquecem o curso de Engenharia Civil da UFSC. Ao meu coorientador, Matheus Soares Geraldi, por todas as conversas, ensinamentos e desabafos ao longo de nossas reuniões e encontros ocasionais. Ao professor Cláudio Cesar Zimmermann, por sua tutoria, amizade e troca de experiências desde meus primeiros passos na graduação.

À família PET por todas as experiências e nasceres do Sol. À Aline, que me acompanha e cresce ao meu lado. À Camila e à Sabrina, amigas da vida para a vida, por todas as noites, risadas e batatas fritas. À minha companheira de vôlei, machucados e muitas gargalhadas, Carol. À Jakeline por toda nossa intensidade e solidez, todos os conselhos e saudades. À Júlia, pelas sábias palavras e conselhos e por me lembrar que todo dia é dia de lutar e vencer. Ao Mateus Bavaresco por todo auxílio e orientações ao longo desse semestre. À Sumara Lisbôa e todas as mulheres incríveis do Labrestauro que me motivam e me fazem acreditar que meus sonhos são possíveis. À família CEPED por todo o aprendizado e apoio ao longo desse semestre. E a todos os meus amigos e às pessoas que passaram pela minha vida que, de alguma forma, me trouxeram até aqui.

## RESUMO

A construção civil é um dos setores que apresenta maior influência no consumo mundial de materiais e energia elétrica. No Brasil, o desenvolvimento de projetos sociais para redução do déficit habitacional deu origem à construção de milhões de edificações em todo o país. No entanto, em sua maioria, os projetos desenvolvidos não consideram aspectos relevantes para um bom desempenho térmico da edificação nem a influência ambiental e social da sua construção. Este trabalho tem como objetivo principal selecionar o conjunto de componentes construtivos com menor impacto ambiental para uso em habitações de interesse social na região de Florianópolis por meio da avaliação do ciclo de vida. Foram testados quatro componentes construtivos de parede, três de esquadria e três de cobertura. A primeira etapa do trabalho consistiu no desenvolvimento do projeto arquitetônico básico, considerando as construções realizadas por meio do Programa Minha Casa Minha Vida na região de Florianópolis. Para as paredes considerou-se o uso de tijolo cerâmico com revestimento, tijolo de adobe com revestimento de argamassa de terra com cal e bloco de concreto celular com e sem revestimento. Para as esquadrias utilizou-se madeira, alumínio e PVC como materiais. Para as coberturas foram consideradas telhas de fibrocimento e cerâmica e forro de madeira ou laje maciça de concreto. Em seguida, desenvolveu-se a simulação computacional por meio do programa *EnergyPlus* considerando as quatro orientações principais. As simulações foram desenvolvidas primeiro considerando ventilação natural e em seguida com o uso de sistema de condicionamento artificial. O conjunto que apresentou menor consumo energético foi o composto por parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento, esquadrias em madeira e com cobertura de telha cerâmica com laje maciça. Após análise dos resultados da simulação, a avaliação do ciclo de vida foi realizada por meio do programa *SimaPro*. Três cenários foram considerados para análise: a construção da edificação, a construção da edificação e o primeiro ano de consumo energético para operação e a construção da edificação e o consumo energético ao longo da vida útil de 50 anos. O segundo cenário foi utilizado para seleção da edificação com menor impacto no ciclo de vida. Concluiu-se que o conjunto de parede de tijolo de adobe, esquadrias de madeira e cobertura com telha cerâmica e laje maciça de concreto é o que apresenta menor impacto ambiental quando considerado o ciclo de vida.

**Palavras-chave:** Avaliação do ciclo de vida. Simulação computacional de edificações. Habitações de interesse social. Desempenho térmico.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Proposta de método para avaliação do ciclo de vida .....	28
Figura 2 - Esquema da metodologia “do berço ao túmulo” para o setor da construção civil...	29
Figura 3 - Fluxograma do método utilizado .....	43
Figura 4 - Planta baixa definida para o projeto arquitetônico modelo utilizado .....	45
Figura 5 – Componentes construtivos de parede considerados para análise .....	48
Figura 6 – Orientações e nomenclaturas adotadas para simulação da edificação .....	50
Figura 7 – Modelagem da edificação para a simulação computacional .....	51
Figura 8 – Modelagem da interação entre os ambientes da sala de estar e cozinha.....	52
Figura 9 – Modelagem final da edificação no <i>SketchUp</i> .....	53
Figura 10 – Identificação da fronteira definida para a avaliação do ciclo de vida .....	62
Figura 11 – Estimativa das áreas para levantamento do quantitativo .....	63
Figura 12 – Identificação das áreas consideradas para quantitativo.....	64
Figura 13 – Modelagem da edificação modelo no Revit.....	65
Figura 14 – Total anual de horas de desconforto para cada componente construtivo conforme sua orientação .....	70
Figura 15 – Flutuação diária da temperatura na sala para dias típicos de verão e inverno .....	72
Figura 16 - Relação entre a transmitância térmica de cada componente construtivo e o total anual de horas de desconforto para a orientação 0° .....	74
Figura 17 - Relação entre a transmitância térmica de cada componente construtivo e o total anual de horas de desconforto para a orientação 90° .....	74
Figura 18 - Relação entre a transmitância térmica de cada componente construtivo e o total anual de horas de desconforto para a orientação 180° .....	75
Figura 19 - Relação entre a transmitância térmica de cada componente construtivo e o total anual de horas de desconforto para a orientação 270° .....	75
Figura 20 – Relação do total anual de horas de desconforto e o consumo energético anual ...	77

Figura 21 – Características das edificações com menor consumo energético anual .....	78
Figura 22 – Características das edificações com maior consumo energético anual .....	78
Figura 23 - Valores de impacto por categoria de dano para a construção da edificação.....	81
Figura 24 – Valores de impacto para todas as edificações considerando a construção e o primeiro ano de operação na categoria de dano de saúde humana.....	83
Figura 25 - Valores de impacto para todas as edificações considerando a construção e o primeiro ano de operação na categoria de dano de qualidade do ecossistema.....	84
Figura 26 - Valores de impacto para todas as edificações considerando a construção e o primeiro ano de operação na categoria de dano de mudanças climáticas .....	85
Figura 27 - Valores de impacto para todas as edificações considerando a construção e o primeiro ano de operação na categoria de dano de recursos .....	87
Figura 28 – Valores de impacto para as categorias de dano considerando a construção e operação da edificação ao longo da vida útil.....	89
Figura 29 – Frequência de ocorrência por componente construtivo e orientação das edificações com menor valor de impacto nas categorias de dano .....	90
Figura 30 – Soma dos percentuais de impacto para cada edificação analisada.....	91
Figura 31 – Valor de cada categoria de impacto na categoria de dano de saúde humana.....	117
Figura 32 - Valor de cada categoria de impacto na categoria de dano de qualidade do ecossistema .....	118
Figura 33 - Valor de cada categoria de impacto na categoria de dano de mudanças climáticas .....	119
Figura 34 - Valor de cada categoria de impacto na categoria de dano de recursos.....	120

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais parâmetros considerados na modelagem da edificação para simulação	36
Quadro 2 - Processos de transferência de calor e massa e os elementos nos quais eles ocorrem na edificação .....	38
Quadro 3 - Tecnologias de construção com terra crua .....	47
Quadro 4 - Componentes construtivos de cobertura considerados para análise.....	49
Quadro 5 – Impactos e categorias de dano obtidas na avaliação do ciclo de vida, e suas respectivas unidades. ....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões mínimas estabelecidas pelo Programa Minha Casa Minha Vida para a Casa Popular .....	21
Tabela 2 - Ocorrência dos materiais levantados para a estrutura da cobertura .....	22
Tabela 3 - Identificação dos cômodos e medidas mínimas definidas para o projeto arquitetônico modelo .....	44
Tabela 4 - Características térmicas dos materiais para os componentes construtivos de esquadria.....	53
Tabela 5 - Características térmicas dos materiais para os componentes construtivos de cobertura .....	54
Tabela 6 – Características térmicas dos materiais para os componentes construtivos de parede .....	54
Tabela 7 - Densidade de potência e valor da potência instalada para equipamentos .....	55
Tabela 8 – Densidade de potência e valor da potência instalada para iluminação.....	56
Tabela 9 – Valores de transmitância térmica dos componentes construtivos .....	59
Tabela 10 - Valor da resistência térmica para a parede de tijolos de adobe.....	59
Tabela 11 – Valor da transmitância térmica para os componentes construtivos de esquadria.....	60
Tabela 12 – Valor da resistência térmica da parede de BCCA com 10cm de espessura.....	60
Tabela 13 – Valor das áreas conforme procedimento manual e pelo programa Revit.....	65
Tabela 14 – Total de horas de desconforto por estação e anual e total de consumo energético anual e de aquecimento e resfriamento para as edificações com menor consumo.....	79
Tabela 15 - Fração de moradores por hora nos cômodos de longa permanência para o verão .....	102
Tabela 16 - Fração de moradores por hora nos cômodos de longa permanência para o inverno .....	103
Tabela 17 - Fração por hora em que as esquadrias estão completamente abertas para cômodos de longa permanência .....	104

Tabela 18 - Fração de uso de potência da iluminação por hora por cômodo .....	105
Tabela 19 - Fração de uso de potência de equipamentos por hora por cômodo.....	106
Tabela 20 – Nível de atividade metabólica conforme atividade desenvolvida por cômodo ..	106
Tabela 21 – Características padrão dos imóveis com financiamento pelo Programa Minha Casa Minha Vida na região da Grande Florianópolis.....	107
Tabela 22 – Inventário do ciclo de vida para a parede com tijolos cerâmicos .....	108
Tabela 23 - Inventário do ciclo de vida para a parede de tijolos de adobe.....	108
Tabela 24 - Inventário do ciclo de vida para a parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento.....	109
Tabela 25 - Inventário do ciclo de vida para a parede de bloco de concreto celular autoclavado sem revestimento .....	109
Tabela 26 - Inventário do ciclo de vida para janela em madeira.....	110
Tabela 27 - Inventário do ciclo de vida para janela em alumínio.....	110
Tabela 28 - Inventário do ciclo de vida para janela em PVC .....	110
Tabela 29 - Inventário do ciclo de vida para porta de madeira .....	110
Tabela 30 - Inventário do ciclo de vida para porta de alumínio .....	111
Tabela 31 - Inventário do ciclo de vida para porta de PVC .....	111
Tabela 32 - Inventário do ciclo de vida para cobertura com forro de madeira e telha cerâmica .....	111
Tabela 33 - Inventário do ciclo de vida para cobertura com forro de madeira e telha de fibrocimento .....	112
Tabela 34 - Inventário do ciclo de vida para cobertura com laje maciça de concreto e telha cerâmica.....	112
Tabela 35 – Relação das 54 edificações selecionadas com menor impacto nas categorias de dano .....	113

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AECV – Avaliação Energética do Ciclo de Vida

ASHRAE – do inglês *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, em português: Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Resfriamento e ar-condicionado

BBCA – Bloco de concreto celular autoclavado

BREEAM – do inglês *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, em português: Método de Avaliação Ambiental do Estabelecimento de Pesquisa do Edifício

DALY - do inglês *Disability-Adjusted Life Years*, em português: Anos de Vida Ajustados por Incapacidade

DAP – Declaração Ambiental do Produto

ESP-r – do inglês *Environmental Systems Performance - Research*, em português: Desempenho de Sistemas Ambientais - Pesquisa

FEESC – Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

HVAC – do inglês *Heating, Ventilation and Air Conditioning*, em português: Aquecimento, ventilação e ar-condicionado

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LEED – do inglês *Leadership in Energy and Environmental Design*, em português: Liderança em Energia e Design Ambiental

PAG – Potencial de Aquecimento Global

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PVC – Policloreto de Vinila



RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>16</b>
1.1. Objetivos .....	18
1.1.1. Objetivo geral .....	18
1.1.2. Objetivos específicos .....	18
1.2. Estrutura do trabalho .....	18
<b>2. Revisão bibliográfica .....</b>	<b>20</b>
2.1. Habitações de interesse social e o Programa Minha Casa Minha Vida .....	20
2.1.1. Componentes construtivos.....	21
2.1.2. Padrão de ocupação .....	23
2.1.3. Desempenho térmico .....	23
2.2. Avaliação do ciclo de vida .....	25
2.2.1. NBR ISO 14040 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida.....	26
2.2.2. Avaliação do ciclo de vida para o setor da construção civil.....	27
2.2.3. OpenLCA .....	33
2.2.4. SimaPro .....	34
2.3. Simulação computacional de edificações.....	35
2.3.1. Sistemas de controle .....	37
2.3.2. Influência do usuário .....	38
2.3.3. EnergyPlus.....	40
2.4. Considerações Finais.....	41
<b>3. Método .....</b>	<b>42</b>
3.1. Projeto arquitetônico modelo .....	43
3.2. Componentes construtivos .....	46
3.2.1. Paredes.....	46
3.2.2. Esquadrias.....	48
3.2.3. Coberturas.....	49
3.3. Simulação computacional .....	49
3.4. Levantamento de dados para a simulação computacional .....	50
3.4.1. Clima local.....	51
3.4.2. Geometria e zonas térmicas .....	51
3.4.3. Materiais construtivos .....	53

3.4.4. Dados de operação.....	55
3.5. Análise dos dados da simulação computacional .....	56
3.5.1. Horas de desconforto térmico.....	56
3.5.2. Influência das características térmicas .....	58
3.5.3. Consumo energético .....	61
3.6. Avaliação do ciclo de vida .....	61
3.6.1. Objetivo e escopo .....	61
3.6.2. Inventário do ciclo de vida .....	62
3.6.3. Avaliação dos impactos .....	66
3.7. Interpretação dos dados de impacto ambiental do ciclo de vida.....	67
3.7.1. Categorias de dano.....	67
3.7.2. Categorias de impacto .....	68
<b>4. Resultados.....</b>	<b>69</b>
4.1. Análise dos dados da simulação computacional .....	69
4.1.1. Horas de desconforto térmico.....	69
4.1.2. Influência das características térmicas .....	73
4.1.3. Consumo energético .....	76
4.2. Interpretação dos dados de impacto ambiental do ciclo de vida.....	80
4.2.1. Categorias de dano.....	80
4.2.2. Categorias de impacto .....	91
<b>5. Conclusão .....</b>	<b>93</b>
5.1. Conclusões gerais .....	93
5.2. Limitações do estudo.....	94
5.3. Sugestões para futuros trabalhos .....	95
<b>Referências .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO A – Rotinas de operação da edificação.....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE A – Características das obras do PMCMV em Florianópolis.....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE B - Inventário do ciclo de vida (ICV) .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE C – Seleção dos conjuntos de menor valor de impacto nas categorias de dano.....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE D – Influência das categorias de impacto nas categorias de dano.....</b>	<b>117</b>

## 1. Introdução

O setor da construção civil, além de representar parcela significativa da economia no Brasil, é um importante influenciador no consumo mundial de recursos naturais e energia elétrica (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015; BRASIL, 2017; IEA, 2017). Apesar disso, é o setor que apresenta o maior potencial e oportunidades na economia de energia e redução de emissão de carbono (KYLILI; ILIC; FOKAIDES, 2017).

Segundo a *International Energy Agency* (2017), é previsto o aumento do uso final de energia em eletricidade nas edificações. Esse aumento está relacionado principalmente aos sistemas de aquecimento ou resfriamento do ambiente, aquecimento de água e iluminação, que somam cerca de 70% da energia total consumida. Através de intervenções nesses sistemas e na envoltória da edificação é possível reduzir o consumo energético em até 50% (HARISH; KUMAR, 2016).

Em 2016, somente os setores de papel, celulose e o residencial apresentaram aumento no consumo de energia elétrica no Brasil, tendo o setor residencial aumento de 1,4%. O setor industrial, principal consumidor de energia elétrica, apresentou redução no percentual de consumo nacional de eletricidade, passando de 46,7% em 2007 para 37,6% em 2016. O setor residencial, segundo maior consumidor, aumentou sua participação no consumo, passando de 22,1% em 2007 para 25,6% em 2016 (BRASIL, 2017).

O uso de água também está intimamente relacionado com o processo de urbanização e o desenvolvimento econômico. No Brasil, o abastecimento humano (rural e urbano) é a segunda atividade que mais demanda retirada de água, com percentual de 24,9%. No cenário mundial, a atividade que mais consome água é a agropecuária (70%), seguida do setor industrial e elétrico, que somam 19% da água consumida. O setor domiciliar ocupa a terceira posição, com total de 10% (BRASIL, 2017).

Além do consumo energético e de água, aspectos ecológicos, econômicos e sociais também influenciam na sustentabilidade de uma edificação. Entretanto, é comum não se considerar os custos dos impactos ambientais causados ao longo de um projeto. Apesar dessas influências é essencial para que o setor da construção civil apresente desenvolvimento sustentável (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013).

Devido à maior conscientização dos impactos provocados pelas edificações, a busca pelo desenvolvimento de projetos que apresentem baixo consumo energético ao longo de seu uso cresceu (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013). Dentre as estratégias utilizadas para esse fim, o condicionamento passivo das edificações influencia na escolha dos materiais utilizados, considerando a temperatura e umidade do local em que o projeto será construído (PEREIRA; GHISI, 2011).

Além disso, certificações como a LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e a BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) apresentam consolidação no mercado e têm sido cada vez mais valorizadas. Entretanto, o surgimento de uma visão mais ampla e ambientalmente consciente sobre o comércio levou ao interesse pela análise de todo o ciclo de vida dos produtos e serviços oferecidos. Para suprir essa demanda, tornou-se necessário o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação ambiental holística (CURRAN, 2013).

Apesar da classificação estabelecida por essas e outras certificações, o método de avaliação do ciclo de vida (ACV) apresenta-se como uma ferramenta muito mais detalhada e completa para avaliação dos impactos provocados pelas edificações. A análise de todo o ciclo de vida de um empreendimento permite a identificação dos principais influenciadores dos impactos ambientais causados, facilitando a tomada de decisões para redução dos encargos ambientais. Sem essa visão global é possível que decisões sejam tomadas de forma a alterar somente o tipo de impacto que é causado, ou então apenas alterá-lo de lugar dentro do ciclo (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015; BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013; CURRAN, 2013; RASHID; YUSOFF, 2015).

Por causa do grande déficit habitacional existente no mundo, políticas públicas são indispensáveis para que famílias de baixa renda adquiram suas próprias casas (LOPES, 2010). O Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV facilita a construção de habitações de interesse social no Brasil. Entretanto, os projetos utilizados não consideram os impactos ambientais com a sua construção, sendo replicados em diferentes zonas bioclimáticas e desenvolvidos sem a adoção de medidas de eficiência energética (MONTES, 2016). Além disso, sua qualidade é prejudicada pela busca da redução de custos e dos curtos prazos de entrega (LOPES, 2010).

Considerando o grande número de residências construídas através do programa, que supera a marca de 1,2 milhões em todo o país, a economia de energia obtida através do estudo e melhoramento desses projetos é muito significativa (BOSA, 2017).

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é selecionar o conjunto de componentes construtivos de parede, esquadria e cobertura com menor impacto ambiental para uso em habitações de interesse social na região de Florianópolis.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho estão listados a seguir:

- Mensurar o consumo energético anual de operação e o total de horas de desconforto térmico das edificações por meio de simulação computacional;
- Avaliar a influência da transmitância térmica dos componentes construtivos no desempenho térmico da edificação;
- Analisar a influência do consumo energético de operação da edificação no ciclo de vida considerando o primeiro ano de consumo e a vida útil;
- Identificar as tendências de impacto ambiental entre os componentes construtivos estudados ao longo do ciclo de vida.

## **1.2. Estrutura do trabalho**

Este trabalho é composto por cinco capítulos. No primeiro, a introdução apresenta brevemente a situação do setor da construção civil quanto ao consumo de água e energia elétrica, e enfatiza a importância de estudos relacionados ao desenvolvimento sustentável de habitações de interesse social. Além disso, uma pequena contextualização ao tema da avaliação do ciclo de vida é feita com a finalidade de introduzir o tema abordado ao leitor, seguida dos objetivos do trabalho.

No capítulo 2, a revisão bibliográfica é construída de forma a abranger os assuntos necessários para o desenvolvimento do trabalho. São apresentadas informações sobre o histórico das habitações de interesse social no Brasil, com foco para a cidade de Florianópolis, sobre a avaliação do ciclo de vida no setor de construção civil e a simulação computacional de edificações. Os programas utilizados para o desenvolvimento do trabalho são apresentados e a seção encerra com as considerações finais sobre os assuntos abordados.

No capítulo 3 o método utilizado para atingir os objetivos definidos é explicado. Para facilitar o entendimento do passo a passo utilizado, um fluxograma é apresentado com a síntese do método.

O capítulo 4 expõe os resultados obtidos por meio das análises desenvolvidas. Em um primeiro momento, os dados da simulação computacional são considerados para análise, abrangendo os dados de desempenho térmico e consumo energético. Em seguida, desenvolve-se a avaliação do ciclo de vida das edificações estudadas, conforme o método apresentado no capítulo 3.

No capítulo 5 as conclusões, limitações existentes no trabalho e sugestões para estudos futuros são apresentadas.

## **2. Revisão bibliográfica**

A revisão bibliográfica aqui desenvolvida abrange três principais temas: Habitações de interesse social e o Programa Minha Casa Minha Vida, avaliação do ciclo de vida e a simulação computacional de edificações. Para cada um deles buscou-se apresentar sua caracterização, seguida da revisão de trabalhos desenvolvidos na área e os resultados obtidos, sempre relacionando com a redução dos impactos ambientais causados.

### **2.1. Habitações de interesse social e o Programa Minha Casa Minha Vida**

O Programa Minha Casa Minha Vida foi criado pelo Ministério das Cidades em 2009. Com baixos valores das parcelas e taxa de juros reduzida, ele torna o financiamento de imóveis possível para famílias de baixa renda. Até o ano de 2017, o programa apresentou investimento superior a 200 bilhões de reais e permitiu o surgimento de mais de 1,3 milhões de empregos (BOSA, 2017; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017).

Apesar da movimentação econômica, os projetos desenvolvidos por meio do programa mostram-se repetitivos e não são adaptados ao local que serão construídos, nem às famílias envolvidas no financiamento. Isso se deu em função da busca pela facilidade de criação e aprovação de novas obras, nas quais os projetos são replicados para locais e climas diversos (BOSA, 2017).

Conforme as especificações técnicas apresentadas pela Secretaria Nacional de Habitação (2016), a Casa Popular definida pelo Programa Minha Casa Minha Vida deverá conter, pelo menos, um quarto de casal, um quarto para duas pessoas, uma sala de estar/refeições, uma cozinha, um banheiro e uma área de serviço.

As dimensões mínimas estabelecidas para cada cômodo, com exceção da área de serviço, são baseadas na utilização de móveis e espaço de circulação, não definindo áreas mínimas. Entretanto, a largura mínima é determinada conforme o exposto na Tabela 1. O pé-direito mínimo permitido é de 2,50 metros, com exceção do banheiro, onde se admite até 2,30 metros.



Tabela 1 - Dimensões mínimas estabelecidas pelo Programa Minha Casa Minha Vida para a Casa Popular

Cômodo	Cozinha	Estar/Refeições	Banheiro	Área de serviço*
Largura mínima (m)	1,80	2,40	1,50	3 m <sup>2</sup>
*área mínima				

Fonte: Baseado em Secretaria Nacional de Habitação (2016)

### 2.1.1. Componentes construtivos

Ghisi et al. (2015) levantaram o material construtivo utilizado em 106 habitações de interesse social na cidade de Florianópolis. O estudo levou em consideração informações das paredes, pisos, cobertura e esquadrias das residências. Por causa da grande diferença entre os dados levantados, algumas simplificações foram adotadas para facilitar a análise final.

Verificou-se que na composição das paredes, 75% das áreas secas foram construídas com blocos cerâmicos, 24% com madeira e apenas 1% com bloco de concreto. Para as áreas molhadas a diferença entre os materiais aumenta, com 95% de bloco cerâmico, 4% de madeira e 1% de bloco de concreto. Em relação à pintura das fachadas, as cores branca e verde foram as mais frequentes, e o valor médio de absorvância para cada uma foi de 20% e 38% (GHISI et al., 2015).

Para os pisos, 72% dos componentes construtivos nas áreas secas foram construídos com concreto revestido de cerâmica, 20% com madeira e 8% com concreto sem revestimento. Para as áreas molhadas os percentuais obtidos foram 90%, 3% e 7%, respectivamente. As esquadrias foram diferenciadas entre portas e janelas. Para as portas, 97% é composta de madeira, 2% de alumínio e 1% de PVC (policloreto de vinila). Para as janelas, 70% é de madeira, 27% de alumínio e 3% misto (GHISI et al., 2015).

A estrutura das coberturas foi considerada composta pelo tipo de telha utilizada, existência de laje e tipo de forro. O percentual obtido para cada componente está na Tabela 2. Dentre as possíveis composições entre esses elementos, a cobertura com telha de fibrocimento, sem laje

e com forro de madeira representou 25% da amostra, seguida da cobertura com telha cerâmica, sem laje e com forro de madeira, com total de 19% (GHISI et al., 2015).

Tabela 2 - Ocorrência dos materiais levantados para a estrutura da cobertura

Elemento	Tipo	Ocorrência (%)
Telha	Cerâmica	48
	Fibrocimento	42
	Sem	10
Laje	Sim	73
	Não	27
Forro	Madeira	44
	PVC	23
	Gesso	2
	Sem	31

Fonte: Baseado em Ghisi et al. (2015)

Montes (2016) levantou informações de 11 projetos de habitações de interesse social localizados nos estados do Pará, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e no Distrito Federal. A tipologia definida foi residencial unifamiliar térrea. Para as paredes, o componente construtivo de alvenaria foi o único encontrado, sendo um com blocos de concreto e o restante com tijolos cerâmicos. Para as coberturas, a telha mais frequente foi a de barro cerâmica. Em 75% das edificações o forro era de PVC. Para alguns casos a cobertura apresentou laje maciça entre 8 e 12 centímetros de espessura. A estrutura mais recorrente para o piso tinha como composição piso cerâmico, argamassa de regularização (2 a 3 cm), contrapiso (4 a 5 cm) e colchão de brita (3 a 5 cm).

Todas as portas internas encontradas eram de madeira. Para as portas de acesso, que somavam duas por edificação na maioria dos casos, o material mais utilizado foi metálico. Para as esquadrias o principal material utilizado foi aço e alumínio, havendo ocorrência de madeira e ferro em alguns casos. Para 3% das edificações levantadas a cozinha era integrada com a sala de estar/jantar, e o pé-direito mais frequente foi de 2,50 metros (MONTES, 2016).

### **2.1.2. Padrão de ocupação**

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE/UFSC), através do convênio firmado entre a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e a FEESC (Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina) desenvolveu o relatório de Uso Racional de Água e Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social. O trabalho foi coordenado pelo Prof. Enedir Ghisi e publicado em três volumes (GHISI et al., 2015).

O volume 1 determinou dados relacionados à geometria das edificações, rotinas de ocupação, operação de aberturas e de usos finais de eletricidade e água em habitações de interesse social da Grande Florianópolis. Para isso, foram realizados levantamentos referentes à geometria e construção das edificações, aos equipamentos e ao padrão de ocupação (GHISI et al., 2015). Os valores aqui relatados fazem referência à mediana obtida para cada rotina.

As Tabelas 15 a 20 do ANEXO A apresentam os resultados obtidos para as rotinas de ocupação, abertura, iluminação e uso de equipamentos eletrônicos nos cômodos de longa permanência.

### **2.1.3. Desempenho térmico**

Bosa (2017) avaliou o potencial de melhoria do desempenho térmico em seis edificações construídas pelo Programa Minha Casa Minha Vida em Araranguá/SC. As edificações foram avaliadas por meio do processo de etiquetagem de residências, que faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). A etiqueta foi desenvolvida pela parceria entre Inmetro e a Eletrobras/PROCEL Edifica, tendo como objetivo a análise do atendimento aos requisitos de desempenho definidos em norma. Como resultado da avaliação, o método desenvolvido classifica as edificações com notas de 1 até 5, classificadas em faixas coloridas, que variam de verde (A) para mais eficiente e vermelha (E) para as edificações menos eficientes (PBE EDIFICA, 2018). Através de modificações nas aberturas, escolha dos materiais e cores foi possível obter melhora de mais de 50% na nota final de classificação das edificações estudadas (BOSA, 2017).

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) classifica a eficiência de habitações conforme requisitos pré-definidos. Para as edificações unifamiliares, a envoltória e o aquecimento de água são os

componentes considerados na classificação (CB3E/UFSC, 2011). Considerando os padrões mínimos presentes no RTQ-R para as esquadrias, somente quatro das onze edificações levantadas por Montes (2016) preenchiam os requisitos para iluminação natural, e apenas duas os de ventilação. Dentre as melhorias identificadas a serem feitas nos projetos desenvolvidos as principais são relacionadas à ventilação e sombreamento e necessidade de redução da transmitância térmica em coberturas e paredes (MONTES, 2016).

Lopes (2010) avaliou o desempenho térmico de 6 habitações de interesse social, sendo três delas unifamiliares e três multifamiliares. As edificações unifamiliares foram monitoradas por sete meses e as multifamiliares por nove meses, levantando as temperaturas de bulbo seco nos ambientes internos e externos às habitações. As características físicas obtidas para cada edificação foram comparadas com o exigido na NBR 15.575 e na NBR 15.220. O somatório de graus-hora foi utilizado para avaliar o desempenho térmico das edificações, com os limites definidos para temperaturas acima de 26°C e abaixo de 18°C. Esse parâmetro é indicado para monitoramentos de longo período, pois permite avaliar o comportamento da edificação durante todo o ciclo climático local.

As edificações multifamiliares estão localizadas nas cidades de Florianópolis, Chapecó e Joinville/SC. Os componentes construtivos utilizados são de alvenaria de bloco cerâmico, alvenaria estrutural de bloco de concreto e alvenaria estrutural de bloco cerâmico, respectivamente. As unifamiliares são duas de Jaraguá do Sul e a terceira de São Bonifácio. Os componentes construtivos utilizados foram de placas pré-moldadas de concreto, PVC e madeira respectivamente (LOPES, 2010).

Para as multifamiliares, nenhuma obteve os valores mínimos de abertura recomendados pela NBR 15.220. Em relação às propriedades térmicas dos componentes construtivos de cobertura e paredes, as multifamiliares, apesar de estarem dentro do padrão determinado para as paredes, não apresentaram bom desempenho térmico ao calor. Para todas as edificações, as coberturas não atingiram os valores determinados pela NBR 15.575 (LOPES, 2010).

Para as aberturas das habitações unifamiliares, somente a de madeira foi aceita pelas duas normas e nenhum componente construtivo atingiu os valores mínimos de propriedade térmica estabelecidos (LOPES, 2010).

Para as edificações multifamiliares, a que obteve pior desempenho térmico no calor foi a de parede com bloco cerâmico. Para as unifamiliares, todas apresentaram desempenho

térmico pior que as multifamiliares, no entanto a que teve pior resposta ao calor foi a de placas de concreto. Em relação ao frio, a unifamiliar com pior desempenho térmico foi a de madeira, enquanto que para as multifamiliares foi a de alvenaria estrutural com bloco de concreto (LOPES, 2010).

## **2.2. Avaliação do ciclo de vida**

De acordo com a análise histórica desenvolvida por Buyle, Braet e Audenaert (2013), os primeiros estudos relacionados à avaliação do ciclo de vida (ACV) apareceram entre os anos de 1960 e 1970. Inicialmente, o método foi utilizado de forma diversa, gerando resultados duvidosos, voltados aos interesses do mercado. Esse processo inicial dificultou a aceitação da ACV como ferramenta analítica. Com o envolvimento de instituições, foram desenvolvidos documentos e procedimentos para o uso da avaliação do ciclo de vida, atraindo e unindo profissionais interessados na aplicação do método. Dentre eles, destacam-se a NBR ISO 14040 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura e o Manual do *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD), desenvolvido pela Comissão Europeia de Produção e Consumo Sustentável e Plano de Ação Sustentável em Política Industrial (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013; RASHID; YUSOFF, 2015; VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

A avaliação do ciclo de vida é considerada uma técnica de gestão ambiental, e, normalmente, não tem como foco aspectos econômicos ou sociais. Portanto, nem sempre essa técnica será a mais adequada para o objetivo desejado do estudo. A ACV permite o desenvolvimento da análise global sobre um produto ou serviço, expondo os pontos de maior impacto ambiental. Com isso, é possível criar soluções que apresentem resultados positivos, evitando a transferência do problema de um local para outro. Conhecer a forma como a ACV pode se encaixar dentro de cada análise também é importante, pois os resultados obtidos podem ser diferentes para um mesmo produto conforme a abordagem adotada (ABNT, 2014; CURRAN, 2013).

Apesar de sua análise considerar todo o ciclo de vida do produto ou serviço, a ACV não tem como finalidade prever impactos ambientais de forma precisa ou absoluta, uma vez que sua metodologia depende da unidade de referência adotada (ABNT, 2014). Em muitos casos a ACV não determina um resultado claro quando utilizada para comparação entre produtos ou

serviços. As incertezas ao longo do caminho podem fazer com que a fase final da avaliação apresente resultados inconclusivos. Conhecer cada parte do processo e a origem dos dados utilizados auxilia na tomada de decisão no final do processo (CURRAN, 2013).

### **2.2.1. NBR ISO 14040 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida**

Conforme a NBR ISO 14040 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura, um estudo de avaliação do ciclo de vida é composto por quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação. Na primeira fase são definidos o nível de detalhamento e os limites da análise, que variam significativamente conforme o objetivo principal do estudo. A análise de inventário é a fase em que são levantados os dados conforme os limites definidos anteriormente. Na fase de avaliação de impactos, as informações obtidas na segunda fase são complementadas de forma a facilitar sua interpretação. Na última fase, os resultados são avaliados e as conclusões definidas, conforme o objetivo principal definido na primeira fase. Para alguns casos, é possível eliminar a fase de avaliação de impactos. Quando isso ocorre o estudo desenvolvido é denominado de inventário do ciclo de vida (ICV) e não mais de avaliação do ciclo de vida. É importante ressaltar que a técnica aplicada na ACV é iterativa, ou seja, cada fase apresentada necessita das informações obtidas em outras fases para garantir a veracidade das conclusões e medidas adotadas (ABNT, 2014).

O objetivo de uma ACV deve contemplar a aplicação pretendida, as razões do estudo, o público-alvo e se os resultados serão utilizados de forma comparativa e divulgados publicamente. O escopo apresenta o sistema de produto a ser estudado, as funções do sistema de produto, a unidade funcional, a fronteira do sistema, procedimentos de alocação, as categorias de impacto e metodologia para a avaliação de impactos, requisitos de dados, pressupostos, limitações, requisitos iniciais quanto à qualidade dos dados, tipo de análise crítica, se aplicável, e tipo e formato do relatório requerido para o estudo (ABNT, 2014).

A unidade funcional é utilizada como referência da qual as entradas e saídas são relacionadas. Sua definição torna possível a determinação da quantidade de produtos necessários para conseguir desempenhar sua função. A fronteira do sistema irá influenciar no grau de confiança dos resultados obtidos, uma vez que é através dela que são definidos quais processos elementares serão incluídos no estudo desenvolvido (ABNT, 2014).

A análise de inventário do ciclo de vida envolve a coleta de dados e a quantificação das entradas e saídas do sistema definido. A coleta de dados pode incluir, de forma geral, entradas de energia, matéria-prima, entradas auxiliares, outras entradas físicas, produtos, coprodutos e resíduos, emissões atmosféricas, descargas para a água e solo e outros aspectos ambientais. O processo de coleta de dados pode apresentar restrições práticas que devem ser expostas no relatório da análise desenvolvida. Em seguida, o cálculo de validação dos mesmos é feito através da correlação dos dados com os processos elementares e também com os fluxos de referência e à unidade funcional (ABNT, 2014).

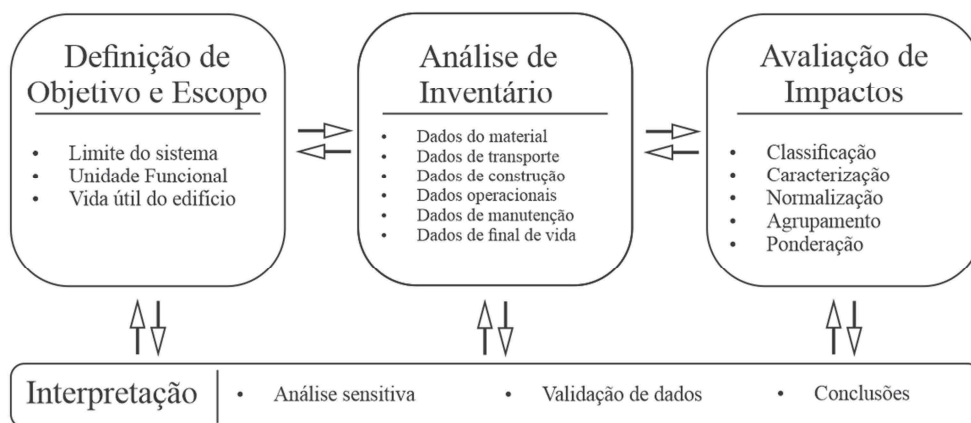
Apesar de a ACV ser um excelente método para direcionar a tomada de decisões em um projeto baseado na redução de impactos ambientais negativos, por causa de algumas de suas limitações, os resultados encontrados com a aplicação desse método devem ser interpretados e utilizados de forma criteriosa. Dentre elas pode-se citar a determinação do tempo de vida útil, o clima, regulamentações locais, a falta de padronização do método, a variação da energia embutida de materiais e requisitos de conforto utilizados (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013; VAN OOTEGHEM; XU, 2012). A avaliação do ciclo de vida representa uma simplificação da realidade, apresentando aproximações e incertezas. Além das dificuldades de prevenção do comportamento dos usuários, a ACV não leva em conta questões estéticas, de qualidade ou estruturais, e poucos estudos são realizados considerando questões econômicas e ambientais concomitantemente (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013).

### **2.2.2. Avaliação do ciclo de vida para o setor da construção civil**

Para a construção civil, a avaliação do ciclo de vida ganhou força a partir do século XXI. As análises desenvolvidas foram aplicadas principalmente em casas e edifícios residenciais e prédios comerciais (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013; RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010; RASHID; YUSOFF, 2015). Segundo Buyle, Braet e Audenaert (2013), das 34 análises publicadas no setor a partir do ano 2000, 26 delas foram aplicadas para edificações residenciais e somente duas delas para edificações destinadas a instituições de ensino. Para o setor, a ACV abrange tradicionalmente dois aspectos principais: os materiais e a fase de operação das edificações (VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

O esquema exposto na Figura 1 é a proposta de um método para aplicação da ACV na indústria da construção, desenvolvida por Rashid e Yusoff (2015) com base em trabalhos publicados na área.

Figura 1 - Proposta de método para avaliação do ciclo de vida



Fonte: Baseado em Rashid e Yusoff (2015)

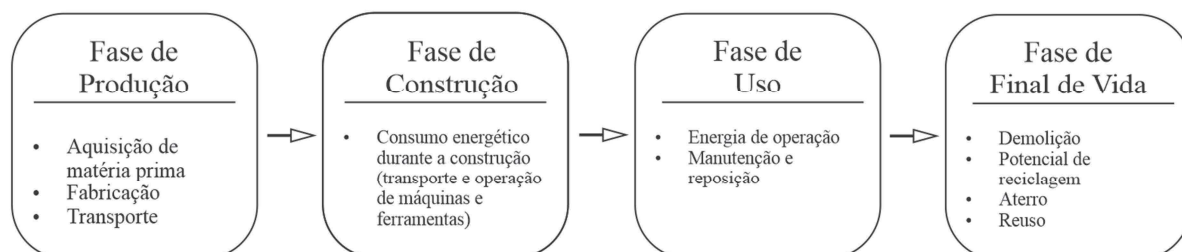
O limite do sistema para o setor da construção tem sido definido de três formas distintas conforme o objetivo da análise: análise de todas as fases da edificação (berço ao túmulo), avaliação dos produtos da construção (berço ao portão) e análise do processo construtivo (portão a portão) (RASHID; YUSOFF, 2015). A metodologia do berço ao túmulo torna possível o estudo dos impactos ambientais que serão gerados desde a obtenção de matéria-prima até o descarte final (ABNT, 2014).

A expansão dos limites aplicados em uma ACV pode trazer vantagens e desvantagens e também alterar completamente o resultado final da avaliação. Com limites mais amplos é possível abordar mais processos que são necessários para o desenvolvimento do produto, no entanto a quantidade de informações aumenta. Com isso, a chance do uso de informações equivocadas aumenta e algumas limitações econômicas e temporais podem comprometer a viabilidade de aplicação do método. No entanto, desconsiderar alguns processos pode provocar resultados que não representem adequadamente a realidade. Por isso, saber definir os limites para a aplicação de uma ACV é essencial (ASADOLLAHFARDI; ASADI;



KARIMI, 2015; CURRAN, 2013). A Figura 2 apresenta os itens usualmente considerados para cada fase dessa metodologia quando aplicada à construção civil.

Figura 2 - Esquema da metodologia “do berço ao túmulo” para o setor da construção civil



Fonte: Baseado em Rashid e Yusoff (2015)

A definição do tempo de vida-útil da edificação para o desenvolvimento de uma ACV é fundamental para considerar o total de energia consumida ao longo da operação da edificação e para validar a comparação de diferentes análises (RASHID; YUSOFF, 2015). A estimativa para edificações residenciais varia de 40 até 100 anos. Entretanto, para o desenvolvimento da avaliação do ciclo de vida, o valor mais utilizado é de 50 anos (RASHID; YUSOFF, 2015; VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

Os dados para materiais são definidos através do levantamento do quantitativo dos projetos, que podem ser levantados por estimativa ou não. A diferença no valor final dos quantitativos entre os dois métodos pode ser muito significativa, principalmente nos projetos elétrico e hidráulico. Alguns trabalhos publicados, no entanto, não especificam o método utilizado. Para esta etapa, o mais importante é definir corretamente a quantidade e o tipo de materiais utilizados ao longo da construção da edificação de estudo (RASHID; YUSOFF, 2015). Para que seu levantamento possa se aproximar de forma satisfatória do valor real é necessário o desenvolvimento de um projeto completo, com detalhamento de todos os materiais utilizados (AVILA; LIBRELOTTO; LOPES, 2003). A utilização de *softwares* que permitem a modelagem 3D e aplicação dos conceitos de BIM mostra-se mais prática e precisa (SANTOS; ANTUNES; BALBINOT, 2014).

Os dados de transporte não apresentam um método padrão para definição. Para isso, é possível utilizar as distâncias médias das fábricas até o canteiro de obras ou então através da seleção do fornecedor mais próximo (RASHID; YUSOFF, 2015).

O estudo de trabalhos publicados revelou que a fase de construção tem pouca influência no impacto ambiental total quando realizada análise do berço ao túmulo (RASHID; YUSOFF, 2015; VAN OOTEGHEM; XU, 2012). Por esse motivo, alguns pesquisadores não utilizam os dados dessa etapa, considerando somente os resíduos gerados. A fase de uso considera a energia utilizada para operação da edificação e os processos de manutenção e reposição necessários ao longo da vida útil. Resultante disso, a energia elétrica é o principal recurso utilizado, tendo o gás natural em segunda posição. Para estimar o total de energia consumida, faz-se necessário o desenvolvimento de simulação energética da edificação. Para isso, programas computacionais como *EnergyPlus*, *Edilclima*, *COMFIE CHENATH*, entre outros têm sido utilizados. Para o final da vida útil, os dados considerados englobam a energia das máquinas de demolição e o transporte até os locais de aterro ou reciclagem que os materiais serão destinados (RASHID; YUSOFF, 2015).

Para facilitar o desenvolvimento da avaliação do ciclo de vida, algumas ferramentas trazem bancos de dados. Entretanto, para utilizá-los é necessário conhecer a origem de seus dados, que apresentam diferenças no processo de fabricação, no método construtivo, nas fontes de energia, locais e outras informações utilizadas (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015; RASHID; YUSOFF, 2015).

Os tipos de impactos avaliados são definidos pelo próprio pesquisador e são fundamentais para conhecimento dos dados levantados no inventário. As categorias de impacto mais utilizadas são o potencial de aquecimento global (PAG), acidificação, depleção de ozônio e eutrofização (RASHID; YUSOFF, 2015).

Através da avaliação dos impactos em cada fase da metodologia do berço ao túmulo percebe-se que a fase mais significativa é a de uso, muito provavelmente consequência de seu longo período de duração quando comparado com as outras fases. Para pesquisas realizadas em regiões com predominância de baixas temperaturas, o aquecimento é o maior consumidor de energia. Entretanto, essa informação varia conforme o clima considerado. A escolha dos materiais construtivos influencia em todas as fases do ciclo de vida, apresentando variações

na energia incorporada na produção, no consumo final da fase de operação e no potencial de reutilização e reciclagem (RASHID; YUSOFF, 2015).

Devido às especificidades de cada projeto, cada método aplicado é único. A padronização de um método voltado especificamente para a construção civil e a criação de um banco de dados robusto são necessárias para facilitar a utilização da ACV no setor. Somente com isso será possível comparar resultados obtidos em diferentes análises e facilitar a tomada de decisão (RASHID; YUSOFF, 2015; VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

Kylili, Ilic e Fokaides (2017) realizaram a avaliação do ciclo de vida de uma “*passive house*” localizada em região de clima subtropical. Para isso, foi utilizada a ferramenta *EcoHestia*, que é fundamentada na ISO 14040. A análise dos impactos considerados foi feita de acordo com os materiais e componentes construtivos utilizados na edificação.

A ACV foi realizada conforme o método de berço ao portão. Com isso, os impactos de uso e fim de uso não foram considerados. As operações de escavação externa também não foram inclusas na análise. A unidade funcional definida foi metro quadrado de área útil, e todos os materiais foram produzidos na região, com exceção da lã mineral utilizada no sistema de isolamento. O impacto do transporte foi considerado na análise (KYLILI; ILIC; FOKAIDES, 2017).

A casa objeto deste estudo apresenta sistema construtivo de *wood frame* e fundação e lajes de concreto armado. A análise desenvolvida resultou no concreto (C20/C25) como o maior contribuinte para todas as categorias de impacto, com exceção da categoria de acidificação, que teve o azulejo como material mais influente (KYLILI; ILIC; FOKAIDES, 2017).

Van Ooteghem e Xu (2012) avaliaram o consumo de energia primária e o potencial de aquecimento global para cinco edificações comerciais de um pavimento. As edificações estão localizadas em Toronto, no Canadá, e o objetivo da pesquisa foi avaliar o impacto relacionado à escolha de diferentes materiais construtivos. Adotou-se vida útil de 50 anos e ocupação das 8h às 21h de segunda a sábado, das 9h às 18h no domingo e fechado em feriados. Essas e outras características adotadas foram baseadas na *ASHRAE Standard 90.1-2007 (Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings)* para o clima local e no *RSMeans Assemblies Cost Data*. O material utilizado nas edificações foi variado entre aço e madeira, alterando para alguns casos só a estrutura e para outros todo o sistema construtivo. Para a avaliação do ciclo de vida foram consideradas três fases: pré-ocupação, ocupação e

pós-ocupação. O *software Athena Impact Estimator for Buildings* foi utilizado na análise (VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

Para o levantamento da energia primária e o potencial de aquecimento global durante a ocupação foi utilizado o programa computacional *eQUEST*. Através dele é possível obter o consumo de energia elétrica e de gás natural anual. A conversão dessas informações de energia secundária para energia primária é feita no *software* utilizado para a ACV (VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

A variação dos parâmetros analisados entre as edificações foi muito maior para o valor embutido nos materiais do que para a fase de ocupação. No entanto, cerca de 90% do total de consumo de energia primária e do potencial de aquecimento global é originado na fase de ocupação. Por isso, quando considerado o ciclo de vida, a variação obtida entre as edificações apresenta valores máximos de 7% para o potencial de aquecimento global e 6% para a energia primária consumida (VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

Ramesh, Prakash e Shukla (2010) compararam diversos estudos desenvolvidos no setor da construção civil que consideraram o consumo energético através da avaliação energética do ciclo de vida (AECV). Como resultado, foi possível perceber que a fase de operação das edificações é responsável por 80% a 90% da energia total consumida. Em relação ao tipo de edificação, as destinadas para uso residencial apresentam em geral faixa de consumo menor do que as comerciais. Apesar de tecnologias passivas e ativas auxiliarem na redução do consumo energético ao longo da operação das edificações, é necessário ponderar seu uso para garantir o balanço do ciclo de vida.

A maioria dos estudos desenvolvidos foi realizada em países de baixas temperaturas, que tem o óleo e o gás como principais combustíveis aquecedores do ambiente. Para locais com temperaturas elevadas, a eletricidade é utilizada para atingir o conforto térmico. Isso faz com que a comparação de edificações em diferentes climas apresente valores diversos. Com isso, indica-se que os estudos para os diferentes climas sejam feitos separadamente (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010).

Asadollahfardi, Asadi e Karimi (2015) analisaram o potencial de aquecimento global e de acidificação de um complexo de apartamentos localizado na parte sudoeste de Teerã, no Irã. O *software* SimaPro foi utilizado, considerando os padrões estabelecidos pela ISO-14040. A análise considerou as fases de aquisição de materiais até a construção da edificação. O

complexo conta com 16.080 edificações construídas com sistema de concreto armado monolítico moldado “*in loco*”, com a temperatura média anual de 28,14°C e a precipitação de 218 mm. Para a construção do complexo foram utilizadas 1671 mil toneladas de materiais, composto de 79% de concreto, 8% de tijolo, 6% de brita e areia, 3% de aço e 1% de PVC.

O potencial de aquecimento global foi medido em um intervalo de tempo de 100 anos com a unidade de mil toneladas de CO<sub>2</sub>. Apesar de apresentar baixo percentual em peso dos materiais utilizados, o aço e o PVC apresentaram 19% e 13% do total de potencial de aquecimento global. Quando considerados os valores individuais de potencial de aquecimento global, os outros materiais apresentaram valores relativamente semelhantes, resultando em 43% do total de impacto para o concreto, mesmo com sua elevada participação nos materiais utilizados (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015).

O potencial de acidificação foi medido em toneladas equivalentes de SO<sub>2</sub> com a base de dados CML 2001/*World* 1995 e em mols de hidrogênio com a base de dados BEES 1.0 (*Building for Environmental and Economic Sustainability*). O PVC, o concreto e o aço foram os materiais que mais influenciaram no potencial de acidificação, apresentando percentual de 22%, 21% e 20% para a base de dados CML 2001 e 21%, 23% e 19% para a BEES 1.0, respectivamente (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015).

Em comparação aos outros materiais analisados, a influência do impacto da madeira foi muito baixa. Apesar de apresentar pequena porcentagem de massa na composição dos materiais, o PVC, o aço e o revestimento cerâmico resultaram em um impacto significativo no potencial de aquecimento global e de acidificação. Considerar o transporte foi imprescindível para a determinação do impacto final (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015).

### 2.2.3. OpenLCA

O *software OpenLCA* foi criado em 2006 e, desde então, é executado e gerenciado pelo *GreenDelta*. O programa surgiu com o objetivo de criar uma rede colaborativa para o desenvolvimento rápido de avaliações do ciclo de vida. O *OpenLCA* pode ser utilizado para análises de ciclo de vida, custo ou impactos sociais, para calcular as pegadas de carbono e água, Declaração Ambiental do Produto (DAP), entre outros itens. Para isso, ele é disponibilizado de forma gratuita e permite ao usuário fazer a inclusão de diferentes módulos

e plug-ins no seu código fonte para melhor se adequar ao modelo desejado (GREENDELTA, 2018; NOI; CIROTH; SROCKA, 2017).

Apesar de oferecer maior flexibilidade e facilidade de adaptação para os usuários, a possibilidade de adicionar ou modificar módulos faz com que cada projeto exija dados precisos e corretos para evitar a ocorrência de resultados inconsistentes ou falhos (CIROTH, 2007).

O *OpenLCA* permite a importação de bancos de dados disponibilizados no *OpenLCA nexus*, que é um repositório online de dados de ICV. Nele encontram-se dados oferecidos pelo *world-leading LCA*, *ecoinvent centre*, *PE Internacional* e do ELCD (*Joint Research Centre from the European Commission*). Em sua última versão, testes comparando os resultados do *OpenLCA* com outros *softwares* de avaliação do ciclo de vida foram desenvolvidos a fim de comprovar a eficiência do algoritmo utilizado. Os resultados obtidos apresentaram valores idênticos para quase todos os fluxos considerados, demonstrando que o *OpenLCA* apresenta funcionamento similar ao dos programas *SimaPro* e o sistema de processamento *ecoinvent* (NOI; CIROTH; SROCKA, 2017).

#### 2.2.4. SimaPro

Desenvolvido pela *PRé Sustainability* em 1993, o *SimaPro* permite que o usuário visualize todos os processos considerados para o desenvolvimento da avaliação do ciclo de vida. Dessa forma torna-se possível tomar decisões coerentes com os objetivos e limitações do estudo, garantindo a precisão dos dados obtidos. O programa apresenta diversas aplicações como relatórios de sustentabilidade, pegada de carbono e hídrica, desenvolvimento de produtos, geração de declarações ambientais e determinação de indicadores chave de desempenho (PRÉ SUSTAINABILITY, 2018).

O *SimaPro* apresenta doze opções de bancos de dados e 28 métodos de avaliação de impacto ambiental. Além de rápida visualização dos resultados, ele permite com que múltiplos usuários desenvolvam uma mesma análise simultaneamente. Com isso usuários de diferentes localidades podem trabalhar sobre uma mesma análise (PRÉ SUSTAINABILITY, 2018).

Herrmann e Moltesen (2015) compararam análises unitárias desenvolvidas nos *softwares* *SimaPro* e *GaBi*. Eles são os dois *softwares* mais utilizados no mundo para desenvolvimento

de avaliações do ciclo de vida. Dentre todas as análises desenvolvidas, a maioria apresentou resultados idênticos ou muito próximos. Entretanto, para algumas os valores foram tão diferentes que alteraram o resultado final da análise. Essas diferenças foram originadas principalmente em erros presentes nos bancos de dados entre os programas. Com isso, torna-se fundamental que as ferramentas de avaliação do ciclo de vida sejam desenvolvidas com sistemas de validação padrão, evitando erros e diferenças indesejadas (HERRMANN; MOLTESEN, 2015)

### **2.3. Simulação computacional de edificações**

A simulação computacional de edificações teve início na década de 1970. Ela auxilia na tomada de decisões para a construção de ambientes que atendam os requisitos mínimos de desempenho com consumo reduzido de recursos. A simulação pode influenciar características de projeto, engenharia, operação e gerenciamento das edificações analisadas (WANG; ZHAI, 2016; HARISH; KUMAR, 2016).

A padronização das características consideradas e sua proximidade com a realidade é fundamental para a simulação. Essas informações têm sido cada vez mais fortalecidas pelo surgimento de normas e códigos que trazem requisitos de desempenho (WANG; ZHAI, 2016; HARISH; KUMAR, 2016). A certificação LEED e a ASHRAE 90.1 apresentam características semelhantes para a avaliação do desempenho energético de edificações, sendo consideradas como documentos base para a definição de requisitos para a simulação (WANG; ZHAI, 2016). O Quadro 1 apresenta os principais parâmetros a serem considerados no desenvolvimento de uma modelagem para simulação.

Quadro 1 - Principais parâmetros considerados na modelagem da edificação para simulação

Parâmetro	Descrição	Natureza
Radiação Solar	A radiação solar incidente é a principal carga térmica no exterior do envelope do edifício.	Incontrolável
Temperatura do ar externo	A temperatura do ar externo que, na ausência de todas as mudanças de radiação, fornece a mesma taxa de entrada de calor na superfície.	Incontrolável
Temperatura do ar interno	Variações internas de temperatura dependem do propósito e ocupação do edifício.	Controlável
Propriedades termofísicas dos materiais construtivos	Espessura.	Incontrolável
Características do vento e precipitação	Velocidade do vento, direção do vento e rugosidade do terreno.	Incontrolável
Ganhos internos de calor	Ganhos de calor interno de pessoas, iluminação, motores, eletrodomésticos e equipamentos podem contribuir com a maior parte da carga de resfriamento em um prédio moderno.	Controlável
Condição do céu ou nuvens	Sombreamento, nebulosidade das condições meteorológicas ao ar livre.	Incontrolável
Taxa de ventilação	Taxa de fluxo devido à introdução intencional de ar do exterior em um edifício.	Controlável
Localização da edificação (informação global)	Informações sobre latitude, longitude, fuso horário, mês, dia do mês, orientação direcional da zona e altura da zona (andar a andar).	Incontrolável

Fonte: Baseado em Harish e Kumar (2016)

A modelagem da edificação pode ser desenvolvida de forma experimental ou teórica. O modelo teórico envolve a divisão de um sistema complexo em partes menores e mais simples, enquanto que o experimental está relacionado com o conhecimento das variáveis de entrada e medição dos valores de saída (HARISH; KUMAR, 2016).

O modelo desenvolvido pode ser dividido em zonas, nas quais cada uma funciona de forma independente e apresenta suas características de carga interna e externa. Por causa disso e, dependendo da orientação da edificação, pode ocorrer a necessidade de resfriamento de uma zona e aquecimento de outra ao mesmo tempo. Por isso, cada zona deve ser tratada separadamente conforme seus picos de consumo energético (HARISH; KUMAR, 2016).



Para o desenvolvimento de uma modelagem teórica antecipada utiliza-se a estimativa dos valores de saída através da inserção de parâmetros e dados de uso. Como o modelo não precisa ser construído fisicamente para obter o comportamento da edificação, esse tipo de análise promove a economia de tempo e dinheiro e seus resultados auxiliam na fase de projeto (HARISH; KUMAR, 2016). Harish e Kumar (2016) levantaram, através de revisão bibliográfica, o procedimento mais utilizado pelos pesquisadores do setor. O passo a passo desenvolvido está descrito a seguir:

- Passo 1: Determinação dos dados climáticos da localização do objeto de estudo;
- Passo 2: Dados construtivos (localização, orientação, propriedades dos materiais de construção, entre outros);
- Passo 3: Características do sistema HVAC (*heating, ventilation and air-conditioning*);
- Passo 4: Padrão de ocupação da edificação;
- Passo 5: Simulação conforme o período desejado;
- Passo 6: Previsão do padrão de consumo de energia.

A definição do programa a ser utilizado para a simulação computacional depende da sua aplicação, do número de vezes que será utilizado, do *hardware* disponível para executá-lo e da experiência do usuário. Os *softwares* de simulação TRNSYS (*Transient System Simulation Tool*), DOE-2, *EnergyPlus* e ESP-r (*Environmental Systems Performance - Research*) seguem o padrão de modelagem teórica antecipada.

### 2.3.1. Sistemas de controle

Para que as condições térmicas no interior dos ambientes da edificação sejam mantidas, é necessário adicionar ou remover energia do ambiente. A energia existente no interior de cada cômodo vai depender das condições externas, influenciadas pelo clima local, como temperatura do ar, umidade e vento, assim como de características internas, como ocupação, o fluxo de calor entre as paredes e a ventilação (HARISH; KUMAR, 2016).

Para alterar a energia existente dentro de um ambiente faz-se uso do sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, conhecido como HVAC. Dimensionar corretamente esse sistema, além de alterar os custos iniciais de projeto, influencia

significativamente os custos operacionais relacionados ao consumo energético. Para isso, é necessário ter conhecimento sobre as transferências de calor existentes no ambiente analisado e as cargas que envolvem seu uso (HARISH; KUMAR, 2016). O Quadro 2 apresenta as diferentes trocas de calor e massa existentes em cada elemento considerado de uma edificação.

Quadro 2 - Processos de transferência de calor e massa e os elementos nos quais eles ocorrem na edificação

Processo de transferência de massa e calor	Elementos
Transferência de calor por condução e/ou radiação.	Paredes externas e internas, telhado, lajes de cobertura e piso, portas e claraboias.
Transferência de calor de condução e transmissão de radiação solar.	Vidros das janelas.
Transferência de calor por condução e/ou radiação e dissipação de umidade.	Ocupantes, iluminação e outros equipamentos.
Transferência de calor e massa por convecção.	Infiltração de fora e quartos adjacentes.

Fonte: Baseado em Harish e Kumar (2016)

Os sistemas de iluminação, além contribuir para o consumo energético operacional da edificação, são, em sua maioria, dissipadores de calor. O adicional de temperatura originado pela iluminação pode auxiliar no conforto interno dos ambientes para climas mais frios, causando o efeito contrário para climas quentes. O consumo energético relacionado ao uso desse sistema depende do tempo de uso de cada ambiente, do projeto arquitetônico e luminotécnico da edificação e do padrão de ocupação do espaço (HARISH; KUMAR, 2016).

### 2.3.2. Influência do usuário

A intervenção humana ao longo do uso das construções representa papel crucial no conforto dos usuários e no consumo energético de operação, características que não podem ser definidas apenas através do uso de tecnologias. Para fazer simulações computacionais, as interações humanas com a construção são simplificadas. Contudo, prever o comportamento dos usuários no estágio de projeto de um empreendimento é uma tarefa complexa e influencia

significativamente no desempenho térmico e no consumo energético da edificação. Além disso, diferenças fisiológicas, psicológicas e culturais entre os usuários de um mesmo ambiente alteram as percepções de conforto entre eles (D'OCA; HONG; LANGEVIN, 2018).

As informações sobre a ocupação dos ambientes, interação com a edificação e uso dos sistemas como iluminação, tomadas e equipamentos de condicionamento do ar, cresceram nos últimos anos. Estudos de caso e o levantamento do comportamento dos usuários são essenciais para fornecer diretrizes para modelagem comportamental. Entretanto, o entendimento do funcionamento das tecnologias adotadas para uso na edificação facilita com que o projetista preveja como o usuário irá utilizá-las (D'OCA; HONG; LANGEVIN, 2018).

Além de alterar o consumo energético durante o uso da edificação, o comportamento do usuário pode levar a um gasto de energia desnecessário por meio de desperdícios. Os valores obtidos com esse tipo de comportamento podem somar mais de 50% do consumo de energia final (MASOSO; GROBLER, 2010).

Pereira e Ghisi (2011) analisaram a influência das propriedades térmicas da envoltória em uma residência unifamiliar da cidade de Florianópolis, considerando ou não a ocupação e ventilação natural na edificação. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os programas *EnergyPlus* e *Analysis Bio*.

A modelagem desenvolvida para simulação teve os parâmetros de temperatura do solo, geometria dos telhados, resistência térmica dos componentes do envelope, absorção solar das superfícies externas, ganho de calor interno pelos aparelhos, infiltração de ar, coeficiente de vazão e expoente da velocidade do vento calibrados conforme dados levantados na própria edificação para que os resultados apresentados fossem o mais próximo possível do real (PEREIRA; GHISI, 2011).

A ocupação foi feita considerando quatro pessoas na edificação. Para a ventilação natural, as rotinas de abertura das janelas e portas externas foram definidas no parâmetro *AirflowNetwork* do *EnergyPlus*. Para avaliar a influência no comportamento térmico da edificação, as propriedades térmicas dos materiais utilizados na envoltória foram variadas, considerando sete modelos de parede e cinco de cobertura. A variação foi realizada de modo que a cobertura original foi mantida enquanto a parede era alterada e a parede foi mantida a original enquanto a cobertura era variada. Os valores de absorção foram padronizados, sendo para as paredes adotado o valor de 0,3 e para as coberturas de 0,48 (PEREIRA; GHISI, 2011).

A análise de conforto térmico foi realizada com base no percentual de horas de conforto e desconforto. Os resultados obtidos mostraram a influência da ocupação e ventilação natural de residências unifamiliares em Florianópolis. Para o verão, as simulações considerando esses parâmetros apresentaram maior percentual de horas de desconforto. Em relação à envoltória, a influência da transmitância e atraso térmico foi mais significativa para as simulações com ocupação e ventilação natural (PEREIRA; GHISI, 2011).

A capacidade térmica foi a característica da envoltória que apresentou maior correlação com o desconforto térmico dos usuários e a transmitância a que menor apresentou correlação. Considerando edificações equivalentes na cidade de Florianópolis, concluiu-se que o ideal seria a adoção de envoltórias com elevados valores de capacidade térmica e de atraso térmico (PEREIRA; GHISI, 2011).

### 2.3.3. EnergyPlus

O *EnergyPlus* é um programa computacional aberto que foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos com base nos programas BLAST e DOE-2, criados na década de 1970 para simulação de energia e carga térmica. Ele se propõe a realizar a simulação térmica e análise energética ao criar *links* com outros programas desenvolvidos para o mesmo fim, podendo apresentar resultados considerando um espaço de tempo de um dia ou até um ano (UNITED STATES, 2017).

O funcionamento dos programas antecessores ao *EnergyPlus* exigia conhecimento do código utilizado em cada um para que fosse possível usá-los. Como eles foram desenvolvidos com uma linguagem que se tornou obsoleta, a gama de profissionais que trabalhavam com o código ficou escassa e também tornou-se inviável o investimento na capacitação de profissionais para realizar as simulações. Com isso, um dos principais objetivos do *EnergyPlus* foi eliminar a necessidade de se trabalhar com a linguagem utilizada nesses programas (UNITED STATES, 2017).

Uma de suas vantagens é a utilização simultânea das cargas térmicas, sistemas e plantas ao se realizar uma simulação, não sendo necessário calcular as cargas para depois simular sistemas e plantas. É importante ressaltar que o *EnergyPlus* não foi desenvolvido para realizar análises de ciclo de vida. No entanto, os resultados fornecidos podem ser utilizados em programas voltados para este fim (UNITED STATES, 2017).

A partir da versão 8.3.0 do programa, criou-se uma biblioteca com documentos referentes ao programa que foi disponibilizada online no site <http://EnergyPlus.net/documentation> (UNITED STATES, 2017). Nela é possível encontrar diversos manuais, que apresentam informações sobre a sua utilização e estrutura, que aqui serão utilizados como material base para estudo do programa.

## **2.4. Considerações Finais**

O setor da construção civil influencia significativamente no consumo mundial de materiais e energia elétrica (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015; BRASIL, 2017; IEA, 2017). O investimento em projetos que reduzem o impacto ambiental negativo gerado pelo setor é determinante para que seja possível atingir um desenvolvimento sustentável. A avaliação do ciclo de vida permite que sejam avaliados tanto os materiais utilizados na construção como o próprio uso das edificações (VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

O elevado déficit habitacional existente no mundo faz com que programas voltados para a população de baixa renda sejam criados. No entanto, os projetos desenvolvidos não levam em consideração o impacto ambiental causado pelas edificações. Considera-se somente o uso de materiais de baixo custo e os projetos são reproduzidos sem levar em consideração a relação da edificação com o entorno (LOPES, 2010; MONTES, 2016).

Como a quantidade de projetos construídos por meio desses programas é elevada, o impacto ambiental oriundo dessas construções é muito significativo (BOSA, 2017). Projetos mal elaborados e materiais de baixa qualidade reduzem o tempo de vida útil das edificações e não atendem às reais necessidades das famílias envolvidas. Devido a isso, torna-se urgente a necessidade de desenvolver projetos com materiais que apresentem ciclo de vida com baixo impacto ambiental.

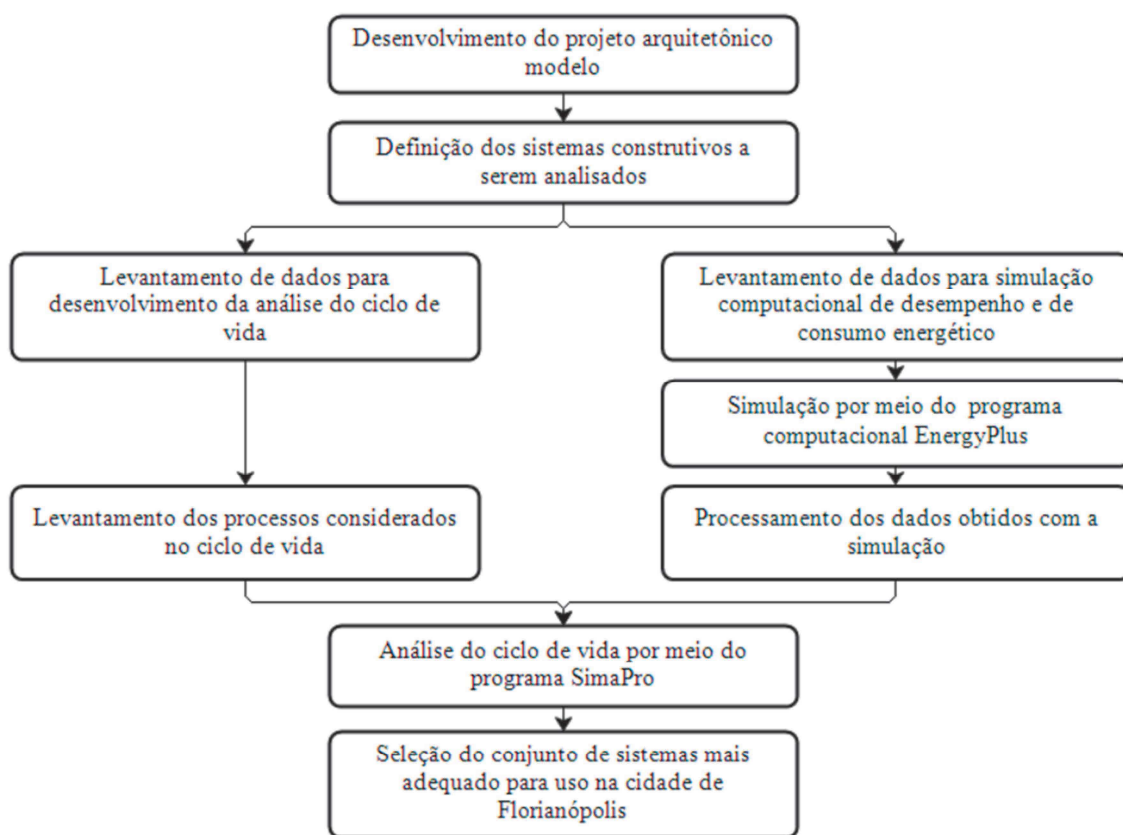
### 3. Método

Neste capítulo será descrito o método utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, serão apresentadas as diretrizes utilizadas para o desenvolvimento do projeto arquitetônico modelo, que foi utilizado como edificação de referência para as simulações e para o levantamento de quantitativo de material. Ele seguiu o padrão reconhecido em projetos de habitação de interesse social financiados pelo Programa Minha Casa Minha Vida para a região de Florianópolis.

Em seguida, foram definidos os componentes construtivos a serem avaliados ao longo do trabalho. Para isso, foram considerados os materiais utilizados na parede, na esquadria e na cobertura, seguindo o mesmo padrão construtivo utilizado para o projeto arquitetônico. Com os conjuntos definidos foi possível levantar os dados necessários para o desenvolvimento da simulação computacional, realizada por meio do programa *EnergyPlus*.

A avaliação do ciclo de vida foi desenvolvida com o auxílio do programa *SimaPro*. Os dados utilizados tiveram como base os processos elementares, o quantitativo levantado com o auxílio do programa Revit e os dados de consumo energético obtidos por meio da simulação computacional. Com isso foi possível fazer a seleção do conjunto de componentes construtivos ambientalmente mais adequados para uso em habitações de interesse social na região de Florianópolis. O fluxograma do método desenvolvido é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do método utilizado



### 3.1. Projeto arquitetônico modelo

O Código de Obras e Edificações de Florianópolis (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2000) apresenta os métodos necessários para administrar ou executar projetos, licenciamentos, execuções, manutenções e a utilização de obras, edificações e equipamentos no Município de Florianópolis. Como a análise desenvolvida é voltada para edificações construídas na região da Grande Florianópolis, as exigências mínimas do Código de Obras e Edificações local foram cruzadas com as estabelecidas pelo Programa Minha Casa Minha Vida para definição da quantidade e tamanho dos cômodos considerados. Com o cruzamento de informações foi possível levantar quais cômodos seriam necessários apresentar no projeto arquitetônico e suas dimensões mínimas de pé-direito, largura e área. O resultado das informações para cada cômodo está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Identificação dos cômodos e medidas mínimas definidas para o projeto arquitetônico modelo

Cômodos	Largura mínima (m)	Área mínima (m <sup>2</sup> )	Pé-direito mínimo (m)
Quarto 1	2,60 <sup>2</sup>	11,00	2,60
Quarto 2	2,60 <sup>2</sup>	9,00	2,60
Cozinha	1,80	4,00	2,50
Estar/Refeições	2,40	12,00 <sup>1</sup>	2,60
Banheiro	1,50	2,24	2,40
Área de Serviço	1,40 <sup>2</sup>	3,00	2,50

1 - Área definida para sala de estar pelo Código de Obras de Florianópolis

2 - Valor do diâmetro mínimo da circunferência a ser inscrita no cômodo

Fonte: Baseado em Secretaria Nacional de Habitação (2016) e Estado de Santa Catarina (2000)

Para o levantamento das características predominantes nos projetos arquitetônicos financiados pelo Programa Minha Casa Minha Vida na região, foi desenvolvida uma busca no mercado local por meio de sites de compra e venda. Foram levantadas informações a respeito da localização, área total, quantidade e divisão dos cômodos e uso de aparelhos de refrigeração. As características levantadas foram sintetizadas na Tabela 21 do APÊNDICE A. Os projetos analisados apresentaram área total entre 50 m<sup>2</sup> e 83 m<sup>2</sup> e, em sua maioria, dois dormitórios e um banheiro. A sala de estar e a cozinha não eram integradas somente em um dos projetos estudados e em todos a área de serviço não tinha um cômodo exclusivo. Para as edificações nas quais foi possível avaliar o uso de ar-condicionado, todas apresentavam pontos de instalação nos quartos e nenhum na sala de estar/cozinha. Sobre a orientação do projeto, apenas três comentaram ter boa ventilação e insolação, sendo todos da mesma construtora.

Para a consideração das esquadrias foi desenvolvida uma pesquisa no mercado local levantando as medidas existentes e utilizou-se como critério de escolha a que possuía dimensões possíveis de serem utilizadas como padrão em toda a edificação respeitando a área

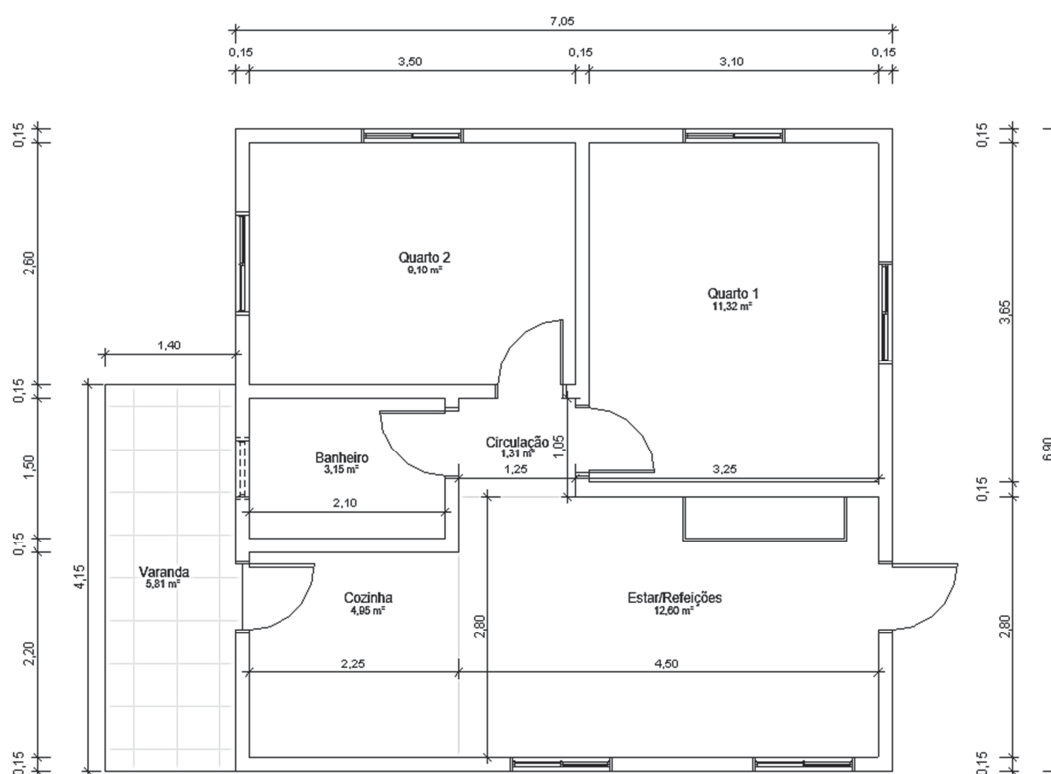


de ventilação mínima da NBR 15575-4. Com isso, definiu-se para uso no projeto janelas de folha dupla de dimensões de 1,20m x 1,20m com um peitoril de 1,20m. Para o banheiro, a janela definida foi de 0,40m x 0,60m com um peitoril de 1,60m e para as portas a dimensão definida foi 2,10m de altura e 0,70m de largura.

A estrutura do telhado foi desenhada com a cumeeira cruzando o eixo central da edificação e com a inclinação de 32%, conforme a inclinação mínima permitida pela NBR 8039 – Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa.

O projeto foi desenvolvido considerando a otimização das instalações hidrossanitárias. Para isso buscou-se reduzir a existência de paredes hidráulicas e a posição da caixa d'água foi prevista para o centro da edificação, simplificando a estrutura da cobertura. Com isso, criou-se um projeto arquitetônico básico para utilização como modelo de edificação. A Figura 4 apresenta a planta baixa desenvolvida.

Figura 4 - Planta baixa definida para o projeto arquitetônico modelo utilizado



### **3.2. Componentes construtivos**

Para definir quais materiais seriam utilizados foram considerados três critérios de pesquisa: frequência de uso nas edificações construídas na cidade de Florianópolis por meio do financiamento do Programa Minha Casa Minha Vida, frequência de uso em empreendimentos desenvolvidos com a aplicação de conceitos de arquitetura sustentável e materiais que estivessem em alta no mercado.

A identificação dos materiais que seguem os critérios adotados foi feita por meio de revisão bibliográfica e pesquisa no mercado local. A pesquisa envolveu o levantamento de empreendimentos desenvolvidos com o conceito de arquitetura sustentável e aqueles financiados pelo Programa Minha Casa Minha Vida em Florianópolis. A revisão bibliográfica considerou a pesquisa desenvolvida por Ghisi et al. (2015) que estudou 106 habitações de interesse social na cidade de Florianópolis. Além disso, consideraram-se somente paredes que não exigissem alteração no projeto estrutural da edificação.

Os projetos da estrutura e das instalações hidráulicas e elétricas foram considerados iguais em todas as situações. Essa padronização permite que suas influências sejam desconsideradas na avaliação do ciclo de vida, que será utilizada de forma comparativa entre os conjuntos. Com isso, o levantamento de quantitativo de materiais para esses sistemas é dispensável, o que não seria possível uma vez que esses projetos não foram desenvolvidos ao longo deste trabalho.

#### **3.2.1. Paredes**

Segundo Ghisi et al. (2015), o principal componente construtivo de parede utilizado em habitações construídas pelo financiamento do Programa Minha Casa Minha Vida é o de bloco cerâmico. O percentual levantado indica que 75% das áreas secas e 95% das áreas molhadas foram construídas nesse componente construtivo. No levantamento desenvolvido para a caracterização do estilo arquitetônico em projetos locais, todos os empreendimentos avaliados foram construídos com parede em bloco cerâmico.

Por meio de busca em escritórios de arquitetura da região que trabalham com o conceito de arquitetura sustentável, foi possível perceber que todos utilizam a terra como material de vedação. As diversas tecnologias desenvolvidas com o uso da terra crua estão apresentadas no Quadro 3. O tijolo de adobe não estrutural foi escolhido por ser o componente construtivo de

maior semelhança com a parede de bloco cerâmico e por não apresentar necessidade de alteração do projeto estrutural.

Quadro 3 - Tecnologias de construção com terra crua

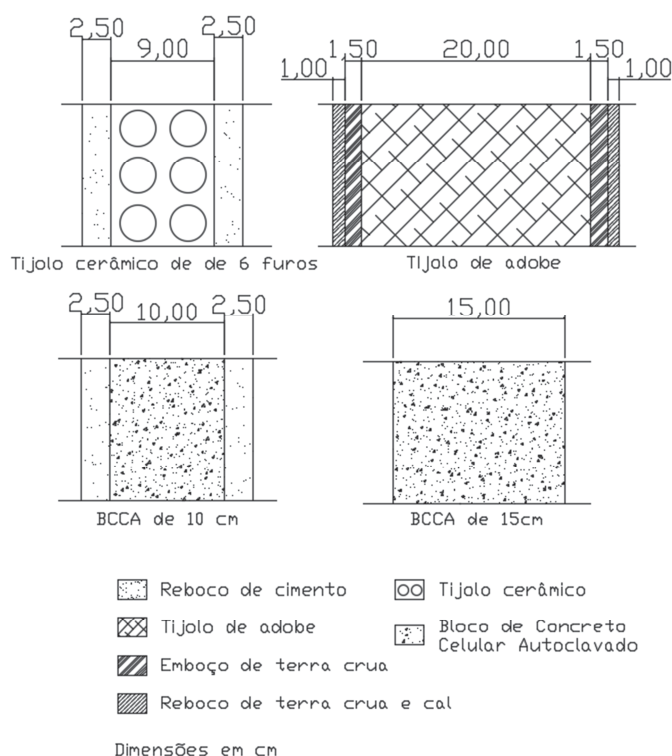
Portante monilítica	Portante parede	Enchimento de estrutura
Terra escavada	Blocos	Reboco
Terra plástica	Torrões de terra	Pau-a-pique
Terra empilhada/modelada	Terra extrudida	Terra de enchimento
Taipa de pilão	Adobe	Terra de cobertura

Fonte: Baseado em Ruivo (2015)

Por meio do levantamento dos blocos de alvenaria utilizados atualmente, o bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) foi identificado em alta e possível de ser utilizado sem a mudança do projeto estrutural da edificação.

A Figura 5 apresenta os quatro componentes construtivos para parede definidos para análise. No primeiro caso utiliza-se bloco de tijolo cerâmico com reboco de cimento. Para o segundo a terra crua é utilizada por meio dos tijolos de adobe revestidos com uma camada de emboço com o mesmo traço do tijolo de adobe seguido de uma camada de reboco com cal (RUIVO, 2015). Para os dois últimos componentes construtivos considerou-se o uso de blocos de concreto celular autoclavado, com e sem revestimento em reboco de cimento, alterando a espessura do bloco (MARINOSKI, 2015).

Figura 5 – Componentes construtivos de parede considerados para análise



### 3.2.2. Esquadrias

O material das esquadrias foi definido por meio de revisão bibliográfica e pesquisa no mercado local. Ghisi et al. (2015) indicam que a maioria das habitações de interesse social financiadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida utiliza esquadrias de madeira, seguidas por um percentual muito inferior de esquadrias de alumínio. Para alguns casos identificou-se o uso de portas de PVC.

Por meio da pesquisa no mercado local, percebeu-se crescimento do uso de esquadrias de PVC, que aparecem com estéticas diferenciadas e para diversos usos. Com o objetivo de considerar os principais cenários, o uso do alumínio, PVC e da madeira foram considerados nas esquadrias. Todas as janelas foram consideradas sem o uso de veneziana e as portas sem o uso de vidro.

### 3.2.3. Coberturas

Os componentes construtivos de cobertura analisados são compostos pela telha e pelo forro. As características desses elementos foram definidas como sendo aquelas que apresentaram maior frequência de uso em Ghisi et al. (2015). As telhas mais utilizadas são a de fibrocimento e a cerâmica, e a maioria das edificações apresentava forro de madeira. Entretanto, para considerar a influência do uso de laje para fechamento horizontal da edificação no ciclo de vida, considerou-se a laje maciça em um dos componentes construtivos. O Quadro 4 apresenta a composição final das coberturas consideradas.

Quadro 4 - Componentes construtivos de cobertura considerados para análise

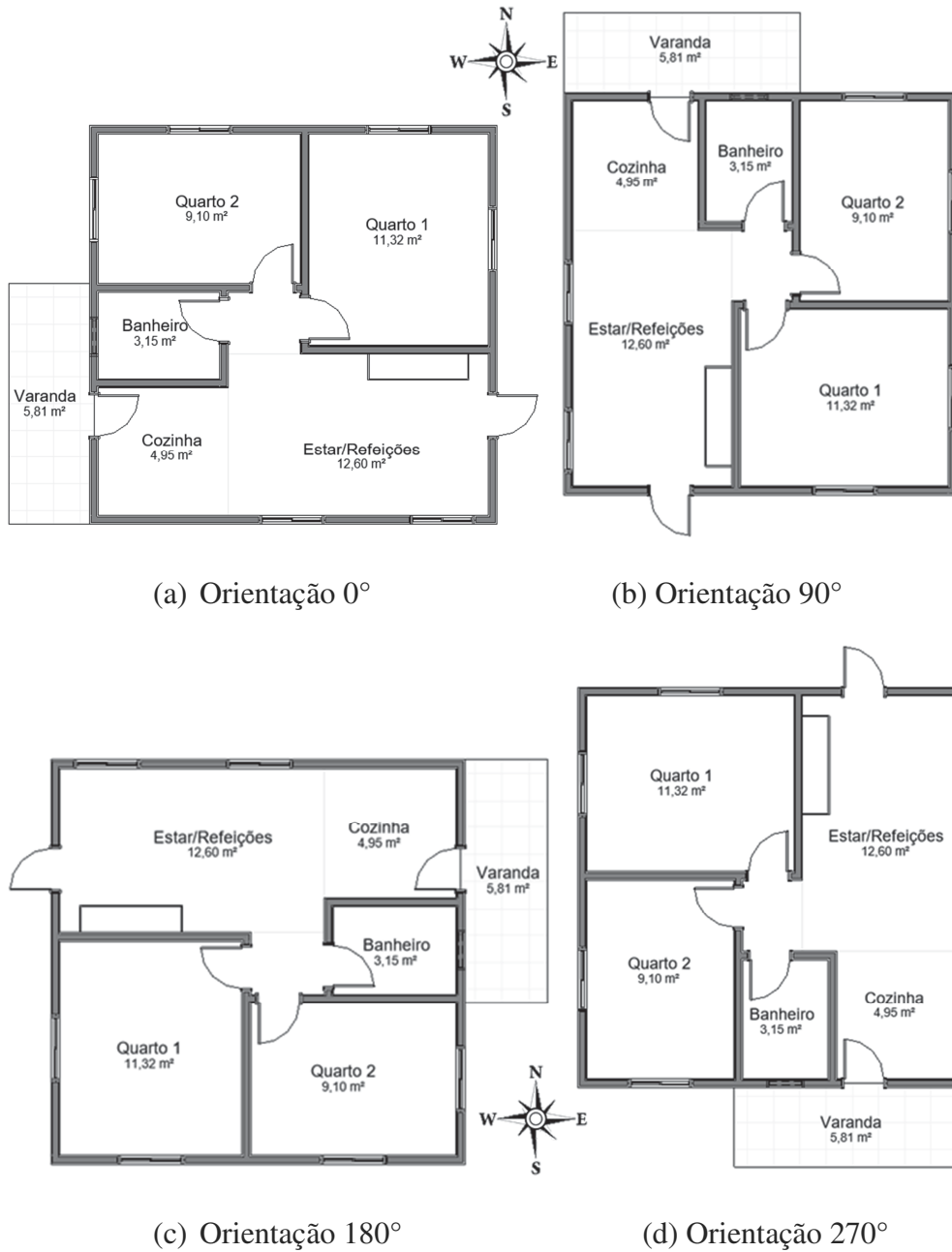
Componentes construtivos	
Telha	Fibrocimento
Isolamento	Forro de madeira
Telha	Cerâmica
Isolamento	Forro de madeira
Telha	Cerâmica
Isolamento	Laje maciça de concreto

### 3.3. Simulação computacional

As simulações computacionais foram desenvolvidas em duas etapas. Inicialmente foram feitas simulações sem o uso do sistema de refrigeração artificial, com o objetivo de fazer a análise do desempenho térmico da edificação e levantar o total de horas de desconforto térmico anual. Na segunda etapa, as simulações foram realizadas com o uso do sistema de condicionamento de ar para avaliar o desempenho energético. Apesar da maioria dos projetos construídos na região de Florianópolis apresentar refrigeração artificial somente nos quartos, o uso do equipamento de condicionamento de ar foi considerado nos quartos e no ambiente integrado de sala e cozinha para simular o cenário de maior consumo provável.

Além da variação dos componentes construtivos selecionados, a orientação da edificação foi alterada de 90° em 90° no sentido horário, com o objetivo de considerar diferentes orientações para o projeto. A Figura 6 apresenta as diferentes orientações e o valor angular considerado para cada uma delas.

Figura 6 – Orientações e nomenclaturas adotadas para simulação da edificação



### 3.4. Levantamento de dados para a simulação computacional

A simulação computacional foi desenvolvida por meio do programa *EnergyPlus*. Os dados de entrada exigem informações sobre o clima local, a geometria da edificação, os materiais utilizados em cada componente e suas características térmicas e os dados de operação, que consideram a ocupação, o uso de equipamentos e a abertura das esquadrias (UNITED STATES, 2018).

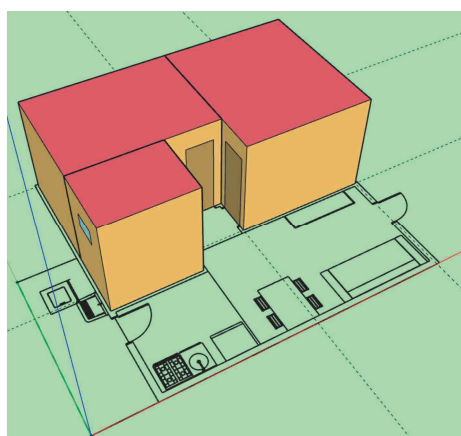
### 3.4.1. Clima local

Para a consideração da influência do clima foi utilizado o arquivo climático referente à cidade de Florianópolis com data base de 2016, disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Ele faz parte do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), que disponibilizou os dados climáticos de 20 cidades brasileiras. Nele também está determinada a temperatura mensal não perturbada, utilizada para definir a temperatura que se encontra o solo na região de contato com a edificação.

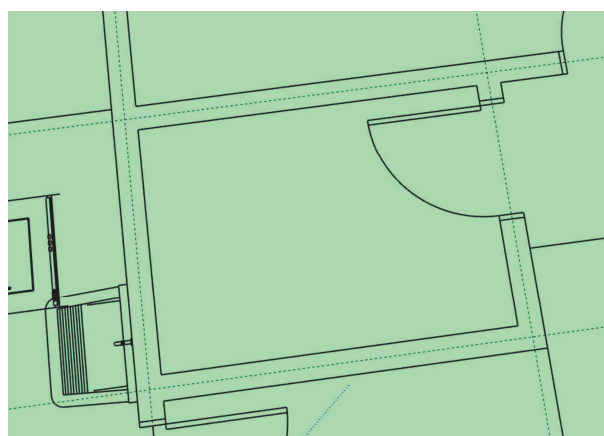
### 3.4.2. Geometria e zonas térmicas

A geometria da edificação e a divisão em zonas térmicas foram modeladas no programa *SketchUp*, com o uso da extensão *Euclid*. Em seguida, as informações foram importadas para o *EnergyPlus*. As zonas térmicas foram definidas seguindo a divisão dos cômodos, de forma a permitir a análise do conforto térmico por ambiente. Adotou-se pé-direito de 2,60m e as paredes foram posicionadas no eixo central das paredes, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Modelagem da edificação para a simulação computacional



(a) Definição das zonas térmicas

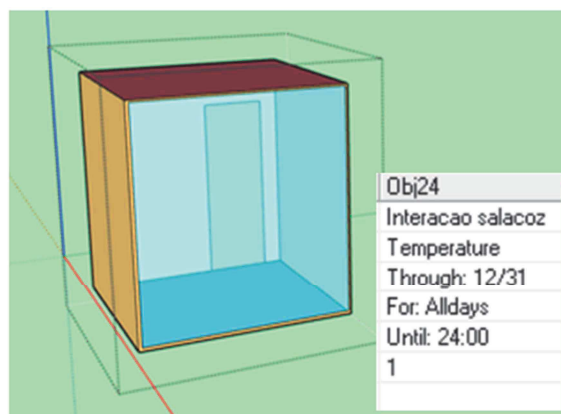


(b) Eixo definido para as paredes

A interação entre as superfícies das zonas térmicas foi feita no *SketchUp* de forma manual. Para considerar a interação entre a cozinha e a sala de estar criou-se uma esquadria em toda a parede que é comum aos dois ambientes. No item de *schedule compact* do *EnergyPlus*,

definiu-se o objeto “Interação salacoz”, que determina a abertura completa em todas as horas do dia para a esquadria. A Figura 8 apresenta a modelagem feita no *SketchUp* e a rotina de abertura definida no *EnergyPlus*.

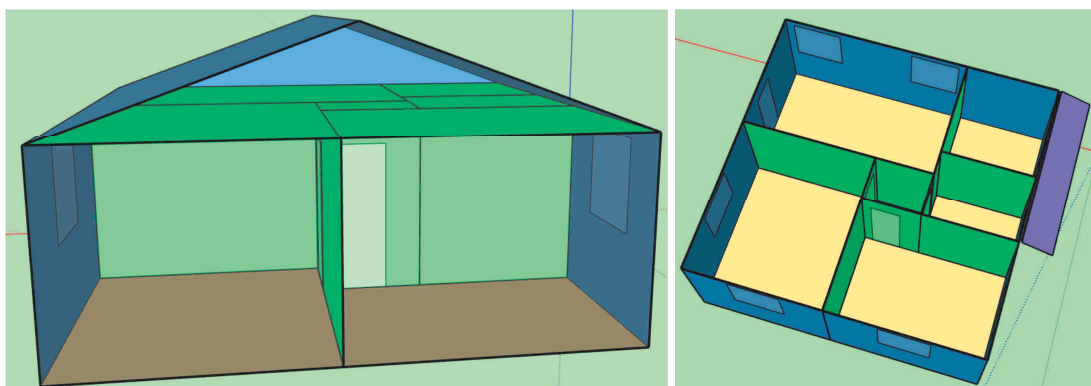
Figura 8 – Modelagem da interação entre os ambientes da sala de estar e cozinha



A cobertura foi modelada em dois componentes. O *Interior Ceiling*, definido como o elemento de forro e o *Exterior Roof*, definido como as telhas da cobertura. O espaço vazio entre os dois é considerado automaticamente pelo *EnergyPlus* como ar. A estrutura da cobertura não foi considerada. O elemento *Interior Ceiling* foi segmentado seguindo a divisão dos cômodos para permitir a interação com as outras zonas térmicas da edificação.

O ambiente da área de serviço, por ser externo, não foi modelado como um cômodo. Entretanto, o telhado de cobertura foi definido como item de sombreamento para consideração da sombra da cobertura na fachada. A Figura 9 apresenta a modelagem final da cobertura e a identificação da interação das paredes internas e do elemento de sombreamento.



Figura 9 – Modelagem final da edificação no *SketchUp*

(a) Modelagem da cobertura

(b) Identificação da interação dos elementos entre as zonas térmicas

### 3.4.3. Materiais construtivos

Os materiais utilizados foram definidos conforme sua composição no componente construtivo do qual faz parte. Para uso na simulação os dados de espessura, condutividade, densidade, absorvância térmica, absorvância solar e absorvância visível foram definidos. Essas características foram obtidas por meio de revisão bibliográfica e estão apresentadas nas Tabelas 4 a 6.

Como não seria avaliada a influência da mudança da cor utilizada nas paredes, as absorvâncias solar e visível foram fixadas em 35%. Esse valor pode equivaler às cores branca, azul, verde, laranja, amarelo, salmão e bege (GHISI et al., 2015). O valor adotado para a resistência térmica da câmara de ar entre o forro e o telhado foi de 0,21 m<sup>2</sup>.K/W.

Tabela 4 - Características térmicas dos materiais para os componentes construtivos de esquadria

Componentes construtivos	<i>Roughness</i>	Espessura (m)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg.k)
Alumínio		0,03	230 <sup>1</sup>	2700 <sup>1</sup>	880 <sup>1</sup>
PVC	<i>Rough</i> <sup>3</sup>	0,03	0,2 <sup>1</sup>	1300 <sup>1</sup>	900 <sup>2</sup>
Madeira	<i>Rough</i> <sup>3</sup>	0,03	0,12 <sup>1</sup>	550 <sup>1</sup>	2300 <sup>1</sup>

Notas:

1 - ABNT (2005)

2 - BRASKEM (2002)

3- Weber et al. (2017)

Tabela 5 - Características térmicas dos materiais para os componentes construtivos de cobertura

Componentes construtivos		<i>Roughness</i>	Espessura (m)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg.K)
Telha	Fibrocimento	<i>Rough</i>	0,008	0,95	1900	840
Forro	Madeira	<i>Rough</i>	0,01	0,15	600	1340
Telha	Cerâmica	<i>Rough</i>	0,01	1,05	2000	920
Forro	Madeira	<i>Rough</i>	0,01	0,15	600	1340
Telha	Cerâmica	<i>Rough</i>	0,01	1,05	2000	920
Laje	Concreto	<i>Rough</i>	0,1	1,15	2200	1000

Fonte: Baseado em Weber et al. (2017)

Tabela 6 – Características térmicas dos materiais para os componentes construtivos de parede

Componente construtivo	Camadas	Espessura (m)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg.K)
Bloco Cerâmico	Argamassa interna <sup>1</sup>	0,025	1,15	2000	1000
	Cerâmico (9x19x19) <sup>1</sup>	0,013	0,9	1600	920
	Ar (Cerâmico) <sup>1</sup>	-	-	-	-
	Cerâmico (9x19x19) <sup>1</sup>	0,013	0,9	1600	920
	Argamassa externa <sup>1</sup>	0,025	1,15	2000	1000
Bloco de Adobe	Reboco (cal) <sup>3</sup>	0,01	0,75	1600	200 <sup>4</sup>
	Argamassa (terra e cal) <sup>3</sup>	0,015	0,82	1700	828
	Tijolo de adobe <sup>3</sup>	0,2	0,82	1700	828
	Argamassa (terra e cal) <sup>3</sup>	0,015	0,82	1700	828
	Reboco (cal) <sup>3</sup>	0,01	0,75	1600	200 <sup>4</sup>
BCCA com revestimento	Argamassa interna <sup>1</sup>	0,025	1,15	2000	1000
	BCCA (10x30x60) <sup>2</sup>	0,1	0,152	510	1000
	Argamassa externa <sup>1</sup>	0,025	1,15	2000	1000
Bloco de concreto celular autoclavado	BCCA (15x30x60) <sup>2</sup>	0,15	0,152	510	1000

Notas:

1 - Weber et al. (2017)

2 - Marinoski (2015)

3 - Programas de Empleo y Juventud PEJ PA (2009)

4 - Meneses (2010)

### 3.4.4. Dados de operação

O padrão de ocupação, de uso de equipamentos, de iluminação e de abertura de esquadrias foi definido por meio do volume um do relatório de Uso Racional de Água e Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social (2015). As informações utilizadas estão disponíveis nas Tabelas 15 a 20 do ANEXO A.

O consumo energético em cada cômodo é estimado pelo EnergyPlus com a inserção da potência instalada, em Watts. Para a definição da potência instalada em cada cômodo, considerou-se a densidade de potência por m<sup>2</sup>. A potência total em cada cômodo é determinada por meio da Equação 1. A Tabela 7 apresenta o valor de potência instalada para os equipamentos e a Tabela 8 para a iluminação em cada cômodo.

$$P_{ins} = A \times D_{pot} \quad (1)$$

Onde:

$P_{ins}$  é a potência total instalada no cômodo (W);

$A$  é a área do cômodo (m<sup>2</sup>);

$D_{pot}$  é a densidade de potência instalada (Watts/m<sup>2</sup>).

Tabela 7 - Densidade de potência e valor da potência instalada para equipamentos

Ambiente	Densidade de potência (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Potência instalada (W)
Cozinha	71,90	4,95	355,91
Quarto 1	18,30	11,32	207,16
Quarto 2	18,30	9,10	166,53
Sala	19,30	12,60	243,18
Banheiro <sup>1</sup>	5214,45	3,15	5214,45

Nota:

1- Considerado somente chuveiro.

Fonte: Baseado em Ghisi et al. (2015)

Tabela 8 – Densidade de potência e valor da potência instalada para iluminação

Ambiente	Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Potência instalada (W)
Cozinha	2,60	4,95	12,87
Quarto 1	3,82	11,32	43,24
Quarto 2	3,82	9,10	34,76
Sala	2,02	12,60	25,45

Fonte: Baseado em Ghisi et al. (2015)

Para o sistema de condicionamento de ar, considerou-se o uso de aparelhos do tipo *split* com função de aquecimento e resfriamento. Os aparelhos de ar-condicionado foram definidos para as zonas da sala e dos quartos. A rotina de operação utilizada foi associada à rotina de ocupação e às temperaturas de conforto para frio e calor. Para isso, definiu-se no grupo *HVAC Template:Thermostat* o objeto chamado “Termostato” com temperatura limite para início do aquecimento de 20°C e limite para início do resfriamento de 24°C. Dessa forma o sistema será ativado sempre que houver ocupação e a temperatura estiver fora do intervalo de temperatura estabelecida.

### 3.5. Análise dos dados da simulação computacional

Os dados selecionados como saída para a simulação foram as temperaturas do ar e operativa por zona, horária e mensal, a demanda de eletricidade por zona, horária e mensal, e demanda de eletricidade da edificação mensal.

A análise dos dados foi dividida em etapas. Foram consideradas as horas de desconforto, a influência de características térmicas dos materiais, a manutenção da temperatura ao longo do dia e o consumo energético total da edificação.

#### 3.5.1. Horas de desconforto térmico

O método de cálculo das horas de desconforto utilizado foi o definido pela ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013. Ele é aplicável para ambientes que não apresentam sistema de condicionamento mecânico, que têm a temperatura média externa predominantemente entre 10°C e 33,5°C, seus ocupantes apresentam taxa metabólica entre

1,0 e 1,3 met<sup>1</sup> e que possam adaptar suas roupas em um intervalo de 0,5 a 1,0 clo<sup>2</sup>. Os valores limites superior e inferior da temperatura considerada confortável em 80% dos casos pela ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013 são determinados por meio das Equações 2 e 3 (ASHRAE, 2013).

$$\text{Limite de aceitabilidade superior a 80\% (}^{\circ}\text{C)} = 0,31 * t_{\text{pma(out)}} + 21,3 \quad (2)$$

$$\text{Limite de aceitabilidade inferior de 80\% (}^{\circ}\text{C)} = 0,31 * t_{\text{pma(out)}} + 14,3 \quad (3)$$

Onde:

Os limites de aceitabilidade superior e inferior são as temperaturas operativas máximas e mínimas internas referentes ao limite de aceitabilidade de 80% dos usuários;

A  $t_{\text{pma(out)}}$  é a média aritmética simples das temperaturas obtidas na estação meteorológica mais representativa possível durante um mês.

Os limites de temperatura de conforto são dependentes da temperatura externa local para levar em consideração o clima ao qual o usuário está fisiologicamente, comportamental e psicologicamente adaptado (ASHRAE, 2013). Após a obtenção dos valores limites superior e inferior das temperaturas horárias, as temperaturas operativas de cada zona de longa permanência foram classificadas com as categorias de conforto, desconforto por calor ou desconforto por frio. Em seguida, por meio de gráficos e tabelas compararam-se os resultados obtidos entre as orientações e os componentes construtivos, considerando o total de horas de desconforto.

---

<sup>1</sup> Met é a taxa metabólica, que expressa a taxa de transformação de energia química em calor e trabalho por unidade de área superficial de pele de um indivíduo ao realizar determinada atividade, sendo que 1 met= 58,2 W/m<sup>2</sup>. Como exemplo de atividades que apresentam entre 1,0 met e 1,3 met estão sentado, em pé relaxado, lendo, escrevendo ou digitando, entre outras (ASHRAE, 2013).

<sup>2</sup> Clo é a unidade que representa o isolamento térmico obtido pelas vestimentas do usuário, sendo que 1 clo= 0,155m<sup>2</sup>.°C/W. Como parâmetro, o conjunto completo de sapato, saia, meia calça e camiseta de manga curta ou sapato, calça e camiseta de manga curta apresentam o somatório em clo menor que 0,5 (ASHRAE, 2013).

Para a consideração da flutuação diária da temperatura definiu-se dois dias representativos para as estações de inverno e verão. Para o verão foi determinado o dia 21 de dezembro, que representa o solstício da estação. Para o inverno, adotou-se o dia 9 de agosto, definido como dia modelo para o inverno no arquivo climático utilizado. A faixa de temperatura de conforto considerada foi de 20° até 24°, a mesma utilizada para as simulações com uso de sistema de refrigeração artificial. A variação da temperatura ao longo do dia foi analisada por zona para todas as edificações e em todas as orientações utilizadas.

### **3.5.2. Influência das características térmicas**

As características térmicas analisadas foram baseadas nas exigências da NBR 15575-4 (2013) e NBR 15575-5 (2013). Tanto para as paredes como para as coberturas o desempenho térmico é avaliado com critérios que levam em consideração a transmitância térmica conforme a zona bioclimática onde o projeto está localizado. A análise da influência da transmitância térmica no desempenho dos conjuntos foi desenvolvida seguindo o processo definido a seguir.

A transmitância térmica dos componentes construtivos foi obtida por meio de revisão bibliográfica e, para alguns casos, foi calculada conforme especificações da NBR 15220-2. Para os componentes construtivos de cobertura e parede de tijolo cerâmico o valor foi obtido diretamente do Anexo geral V da Portaria Nº 50, de 1 de fevereiro de 2013 (INMETRO, 2017). Para o componente construtivo de parede de bloco celular autoclavado com espessura de 15cm e sem revestimento, o valor da transmitância térmica foi obtido em Marinoski (2015). Para a esquadria em alumínio o valor foi obtido do painel Desempenho térmico de esquadrias apresentado no II Fórum de Desenvolvimento Urbano e Construção Sustentável (WESTPHAL, 2015). Os valores estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores de transmitância térmica dos componentes construtivos

Componente construtivo	Tipo	Transmitância (W/m <sup>2</sup> K)
Parede	Tijolo cerâmico	2,46
	BCCA15	0,90
	Telha fibrocimento/ forro madeira	2,02
Cobertura	Telha cerâmica/ forro madeira	2,02
	Telha cerâmica/ laje maciça	2,05
Esquadria	Alumínio	8,00

Fonte: Baseado em Marinoski (2015) e INMETRO (2017).

A resistência térmica das portas de madeira e PVC e da parede de tijolos de adobe foi obtida por meio do procedimento de componente de camadas homogêneas. A parede de tijolos de adobe pode ser definida como um componente de camadas homogêneas uma vez que sua argamassa de assentamento é composta do mesmo material que o tijolo de adobe. A Tabela 10 apresenta as resistências térmicas de cada camada da parede e do componente construtivo como um todo. A transmitância térmica é obtida com o inverso da resistência do componente, resultando em 3,26W/m<sup>2</sup>.K. Os valores finais da resistência térmica e da transmitância térmica para as portas de madeira e PVC estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 10 - Valor da resistência térmica para a parede de tijolos de adobe

Camada	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K)/W
Reboco (cal)	0,01	0,75	0,013
Argamassa terra	0,015	0,82	0,018
Tijolo adobe	0,2	0,82	0,244
Argamassa terra	0,015	0,82	0,018
Reboco (cal)	0,01	0,75	0,013
Resistência térmica do componente (m <sup>2</sup> .K)/W			0,307

Tabela 11 – Valor da transmitância térmica para os componentes construtivos de esquadria

Material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K)/W	Transmitância Térmica (m <sup>2</sup> .K)/W
Madeira	0,03	0,12	0,25	4,00
PVC	0,03	0,2	0,15	6,67

O componente construtivo de bloco de concreto celular autoclavado de 10cm de espessura é definido como um componente de camadas não homogêneas. Para a obtenção da resistência térmica deve-se dividi-lo em seções de camadas homogêneas. A Tabela 12 apresenta os valores da resistência de cada seção e da resistência total do componente.

Tabela 12 – Valor da resistência térmica da parede de BCCA com 10cm de espessura

Seção	Camada	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K)/W	Área da seção (m <sup>2</sup> )
A	Reboco	0,03	1,15	0,02	-
	BCCA10	0,10	0,15	0,66	-
	Reboco	0,03	1,15	0,02	-
	Total da seção	0,15	-	0,70	0,18
B	Reboco	0,03	1,15	0,02	-
	Argamassa de assentamento	0,10	1,15	0,09	-
	Reboco	0,03	1,15	1,51	-
	Total da seção	0,15		1,62	9,10 x 10 <sup>-3</sup>
Resistência térmica do componente (m <sup>2</sup> .K)/W					0,72

O valor da transmitância térmica do componente construtivo de bloco de concreto celular autoclavado de 10cm resultou em 1,38 W/m<sup>2</sup>.K.

Para análise da influência da transmitância térmica no total de horas anuais de desconforto, fixou-se cada componente construtivo calculando a média de horas anuais de desconforto e o desvio padrão obtidos com a variação dos outros componentes.



### **3.5.3. Consumo energético**

O consumo de eletricidade ao longo da operação da edificação foi analisado de duas formas. Relacionou-se o consumo com as horas de desconforto total de cada edificação e também foram caracterizadas as 25 edificações com menor e as 25 com maior consumo energético, analisando suas composições físicas para evidenciar tendências de eficiência energética nos componentes construtivos e na orientação adotados.

## **3.6. Avaliação do ciclo de vida**

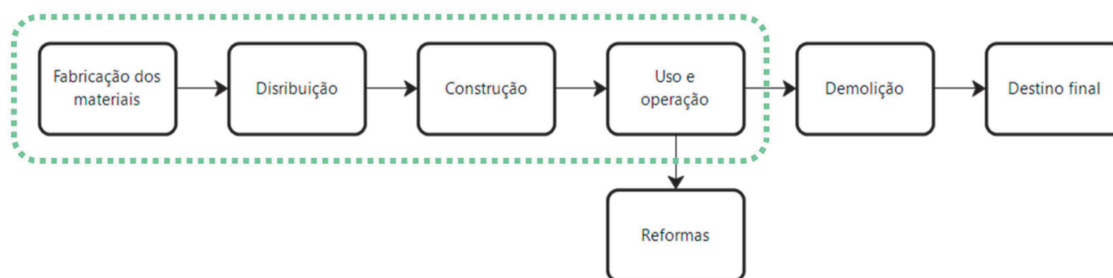
O desenvolvimento da avaliação do ciclo de vida seguirá as etapas de definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação dos impactos e interpretação dos dados obtidos.

### **3.6.1. Objetivo e escopo**

O objetivo da análise do ciclo de vida é determinar os impactos sobre o meio ambiente de cada projeto dentro das fronteiras estabelecidas, tornando possível a comparação entre as edificações. Para isso foram considerados subsistemas que representam produtos diferentes na construção da edificação, definidos nos grupos de cobertura, janela, porta e parede. Cada um deles foi modelado no programa SimaPro com a unidade funcional de m<sup>2</sup>, possibilitando a comparação entre os próprios subsistemas.

Os critérios utilizados para definição da fronteira de análise consideraram as limitações do trabalho e o objetivo do estudo. Ao longo da vida útil da edificação não foram consideradas reformas, e o descarte final dos materiais também não foi contabilizado, caracterizando uma análise de berço ao portão. Com a finalidade de avaliar a influência da operação da edificação no ciclo de vida foram considerados três cenários: somente a construção da edificação, a construção e o consumo do primeiro ano de uso e a construção e o consumo do tempo de vida útil, estimado em 50 anos. O impacto das infraestruturas, como construção das fábricas e máquinas utilizadas, não foi considerado. A Figura 10 apresenta a fronteira definida.

Figura 10 – Identificação da fronteira definida para a avaliação do ciclo de vida



Fonte: Elaborada pela autora

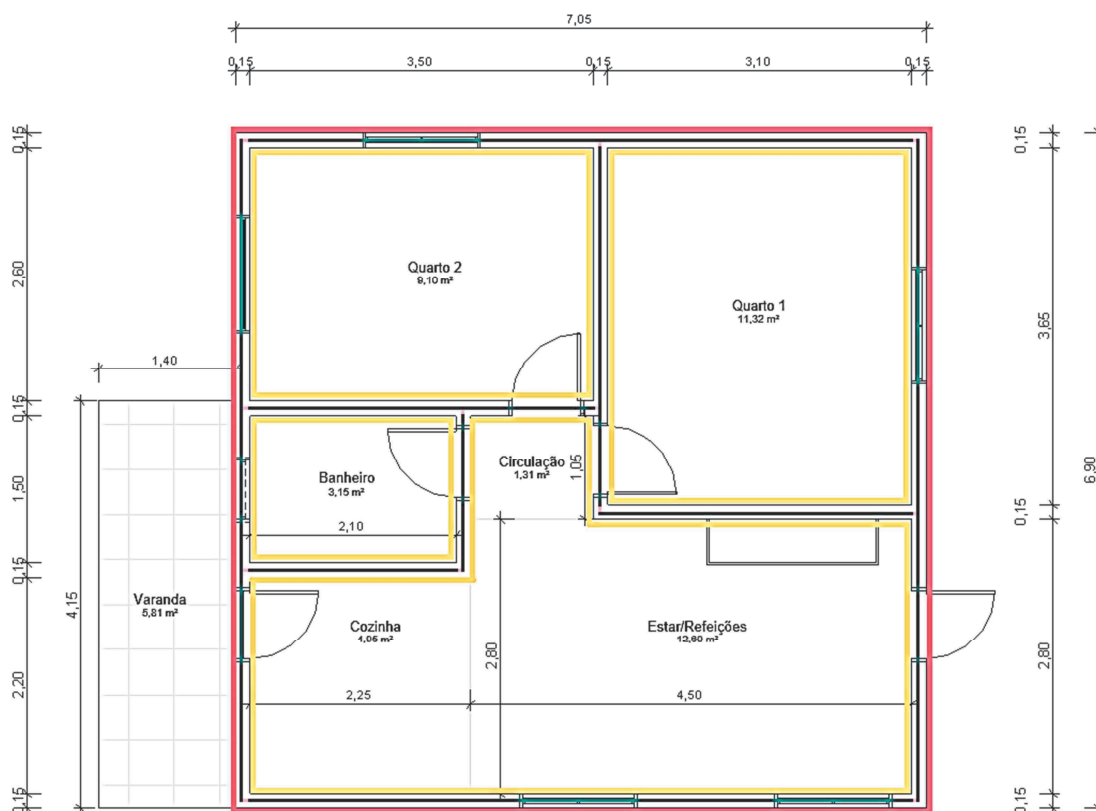
A produção dos materiais foi considerada por meio do uso de bancos de dados e a distância de distribuição foi medida pela mediana dos três principais fornecedores de cada material para a região de Florianópolis.

### 3.6.2. Inventário do ciclo de vida

Para o desenvolvimento do inventário do ciclo de vida é necessário obter o quantitativo de materiais para cada componente construtivo. O levantamento das áreas foi realizado de duas formas distintas, por estimativa manual do projeto e por quantificação utilizando o programa Revit.

Para o procedimento de estimativa, a área da parede e reboco interno e externo foi obtida por medição direta em planta, estimando o pé-direito de 2,60m. Além disso, adicionou-se o alongamento das paredes para fechamento lateral da cobertura por meio de medição direta na vista da fachada da edificação. A Figura 11 apresenta o tracejado utilizado para estimativa das áreas. O traço rosa e o amarelo são para consideração do reboco externo e interno, respectivamente, e o verde para estimativa da área de parede. O prolongamento da parede externa para o fechamento da lateral da cobertura foi adicionado na área total.

Figura 11 – Estimativa das áreas para levantamento do quantitativo



Fonte: Elaborada pela autora

A área de cobertura foi obtida com a área de projeção multiplicada pelo fator de correção de 1,05. O fator de correção foi obtido por meio da Equação 6 considerando inclinação do telhado igual a 32%. A Figura 12 apresenta a área do prolongamento da parede lateral e a área da projeção da cobertura.

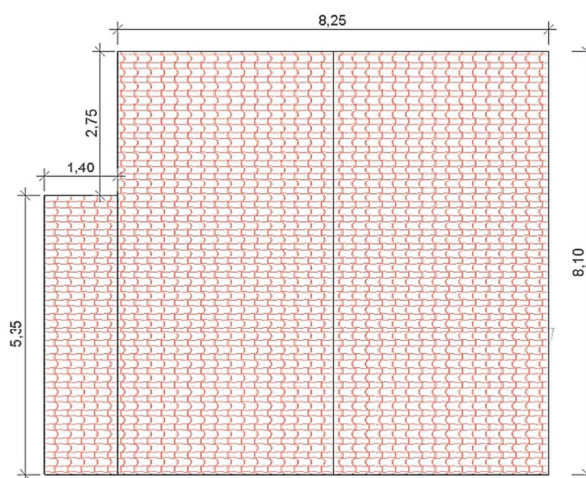
$$Fc = \frac{1}{\cos(\alpha)} \quad (6)$$

Onde:

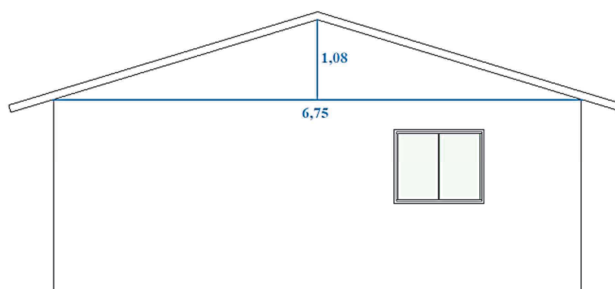
Fc é o fator de correção (adimensional);

$\alpha$  é a inclinação do telhado (graus).

Figura 12 – Identificação das dimensões consideradas para quantitativo



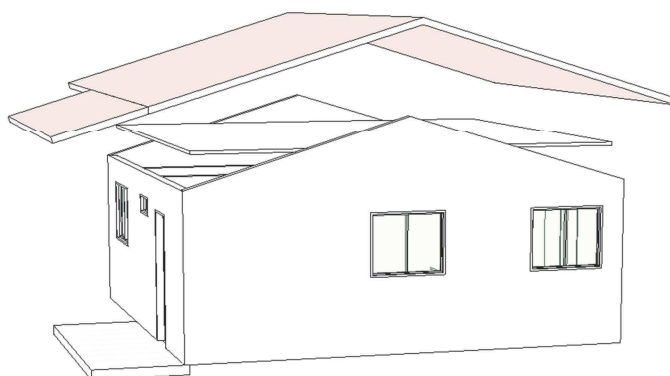
(a) Área de projeção do telhado



(b) Elevação lateral das paredes externas

Para o levantamento das áreas por meio do programa Revit, a edificação foi modelada com o máximo de detalhes construtivos, objetivando a aproximação do valor obtido ao valor real. A Figura 13 apresenta a modelagem final da edificação no programa.

Figura 13 – Modelagem da edificação modelo no Revit



A Tabela 13 apresenta o resultado das áreas levantadas por estimativa manual e por quantificação usando o programa Revit. Como os valores ficaram muito próximos, considerou-se confiável a modelagem desenvolvida utilizando o programa. Com isso, para quantificação dos materiais, o levantamento das áreas realizado computacionalmente foi utilizado para evitar o uso de estimativas.

Tabela 13 – Valor das áreas conforme procedimento manual e pelo programa Revit

Categoria	Material	Área (m <sup>2</sup> )	
		Revit	Manual
Parede	Parede	101,07	102,4
Parede	Pintura	202,14	198,68
Parede	Reboco interno	133,07	129,62
Parede	Reboco externo	69,07	69,06
Cobertura	Telha	77,6	78,03
Cobertura	Forro	44,55	44,55

A quantificação dos insumos considerados no inventário foi baseado nas composições unitárias das Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO, 2010), em manuais de boas práticas referentes aos componentes construtivos considerados e em pesquisa aos fornecedores locais para informações sobre os produtos. O inventário desenvolvido encontra-se exposto nas Tabelas 22 a 34 do APÊNDICE B.

### 3.6.3. Avaliação dos impactos

O programa utilizado para a avaliação do ciclo de vida foi o *SimaPro*. O método de cálculo definido para uso foi a versão 2.1 do *IMPACT* 2002+, conforme Lassio (2013). Por meio dele são considerados os métodos clássicos e os mais recentes de previsão de impacto. O método clássico quantifica os impactos considerados como *midpoint*, que compõem o início da cadeia de causa e efeito. As abordagens utilizadas recentemente caracterizam os impactos conhecidos como *endpoint*, agrupando os impactos em categorias de dano (HUMBERT et al., 2012). O Quadro 5 apresenta as categorias de impacto e as de dano obtidas como resultado da avaliação do ciclo de vida com o método de cálculo *IMPACT* 2002+.

Quadro 5 – Impactos e categorias de dano obtidas na avaliação do ciclo de vida, e suas respectivas unidades.

Categorias de impacto ( <i>midpoint</i> )	Unidade	Categorias de dano ( <i>endpoint</i> )	Unidade
Carcinógenos	DALY	Saúde humana	DALY
Não carcinógenos	DALY		
Inorgânicos respiráveis	DALY		
Radiação ionizante	DALY		
Depleção da camada de ozônio	DALY		
Orgânicos respiráveis	DALY		
Ecotoxicidade aquática	PDF*m <sup>2</sup> *yr	Qualidade do ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> *yr
Ecotoxicidade terrestre	PDF*m <sup>2</sup> *yr		
Acidificação/eutrofização terrestre	PDF*m <sup>2</sup> *yr		
Ocupação do solo	PDF*m <sup>2</sup> *yr		
Potencial de aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	Mudanças climáticas	kg CO <sub>2</sub> eq
Energia não renovável	MJ primário	Recursos	MJ primário
Extração mineral	MJ primário		

Fonte: Baseado em (HUMBERT et al., 2012)

A unidade definida como DALY (*Disability-Adjusted Life Years*) representa o valor de anos de vida ajustados por incapacidade, considerando tanto os anos de vida por falecimento prematuro como os anos de vida com qualidade reduzida devido a doenças. Para medir a

qualidade do ecossistema a unidade utilizada é  $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$ , que representa a fração potencial de espécies desaparecidas em um  $\text{m}^2$  ao longo de um ano (HUMBERT et al., 2012).

Para consideração no ciclo de vida, os produtos levantados no inventário bem como o consumo anual de energia obtido na simulação para cada edificação foram inseridos no programa. Como o objetivo é a comparação, cada componente construtivo analisado foi inserido com a unidade funcional de  $\text{m}^2$ . Com isso, obteve-se o impacto para a construção por  $\text{m}^2$  de cada um deles. O banco de dados utilizado foi o *Ecoinvent* e o Idemat 2001.

### **3.7. Interpretação dos dados de impacto ambiental do ciclo de vida**

Para desenvolvimento das análises, os dados obtidos foram transformados para tornarem-se equivalente à construção de uma casa. Para isso, o valor de impacto por área de cada componente construtivo foi multiplicado pela área construída correspondente. Somando o valor de cada um, obteve-se o impacto total para a edificação avaliada.

A interpretação dos dados obtidos com a avaliação do ciclo de vida ocorreu em duas etapas principais. A primeira foi desenvolvida com base no método apresentado por Humbert et al. (2012), na qual as categorias de dano serão utilizadas para a seleção inicial dos conjuntos que apresentam menor impacto ambiental. Em seguida, as categorias de impacto serão consideradas para a análise final.

#### **3.7.1. Categorias de dano**

Conforme indicado por Humbert et al. (2012), para a interpretação dos dados iniciou-se com a consideração das categorias de dano. Para isso, analisaram-se os valores dos impactos obtidos para as quatro categorias definidas, comparando a diferença entre os resultados dos três cenários considerados. As variações no impacto menores que 10% foram desconsideradas por não serem significativas devido às incertezas existentes na avaliação do ciclo de vida. O uso de ponderação também é descartado por não ser aceito pela ISO 14044 para comparações em estudos de ciclo de vida (HUMBERT et al., 2012). Para estimar o impacto com a operação ao longo da vida útil, multiplicou-se o valor do impacto obtido para o consumo energético anual de cada edificação por 50.

Em seguida, foram selecionadas as 25 edificações com menor impacto para cada categoria de dano. Consideraram-se apenas uma vez os conjuntos que se repetiram entre as categorias.

Os valores de impacto para essa etapa foram utilizados considerando a construção e operação de um ano da edificação. Optou-se por essa escolha para evitar o mascaramento do impacto de fabricação dos materiais ao longo do ciclo de vida e as incertezas de previsão de consumo ao longo dos 50 anos de vida útil. Foram selecionadas as edificações que estavam em todas as orientações, com o objetivo de garantir baixo impacto ambiental independente da orientação do projeto.

### **3.7.2. Categorias de impacto**

Para a seleção do conjunto ambientalmente mais adequado para uso na cidade de Florianópolis, os valores absolutos das categorias de impacto das 54 edificações selecionadas foram transformados em percentuais, sendo considerado como 100% o maior valor obtido entre as categorias de impacto com a mesma unidade de medida. Em seguida, os percentuais foram somados com o objetivo de identificar o conjunto com menor percentual acumulado entre as categorias de impacto.



## **4. Resultados**

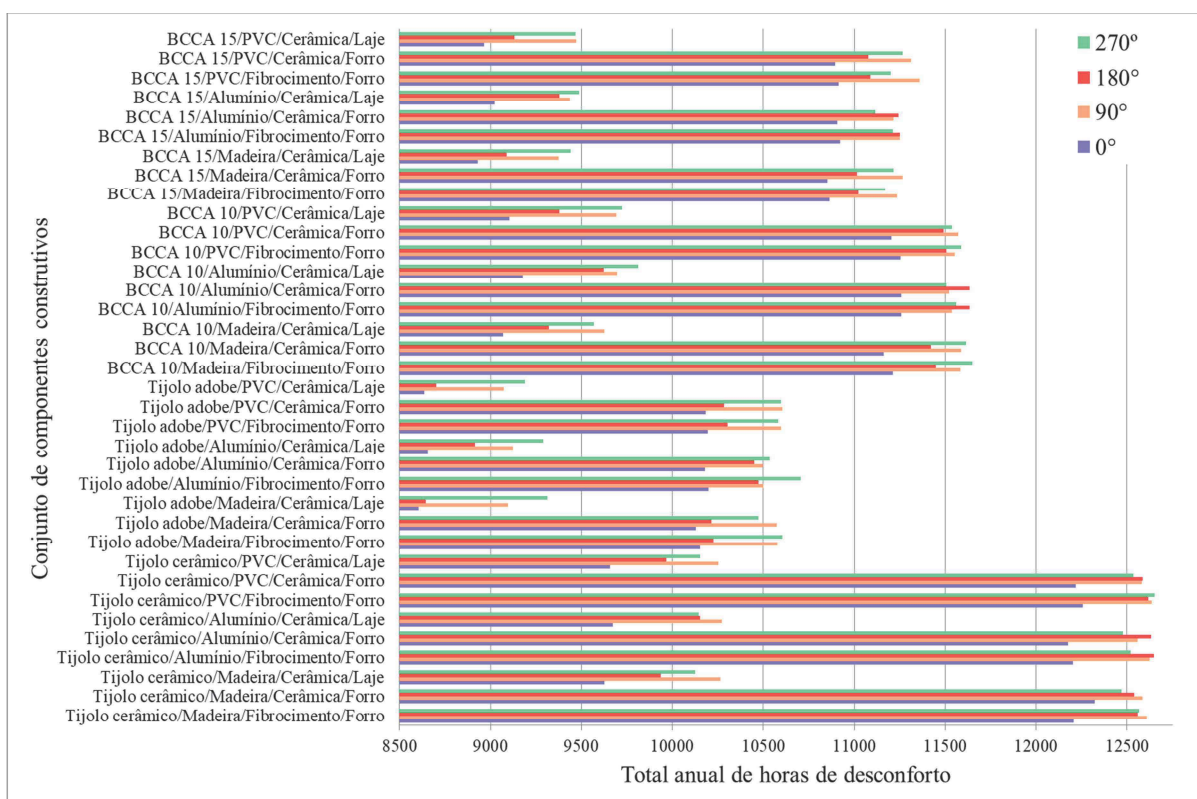
### **4.1. Análise dos dados da simulação computacional**

Os dados obtidos com a simulação foram avaliados pelos critérios de horas de desconforto, características térmicas dos conjuntos e a manutenção da temperatura ao longo do dia. A seguir apresenta-se o resultado de cada uma das análises.

#### **4.1.1. Horas de desconforto térmico**

Os resultados obtidos para as horas de desconforto não consideram o uso de sistema de refrigeração artificial e foram analisados de duas maneiras distintas, considerando o total anual de horas de desconforto por edificação e a flutuação diária de temperatura. A Figura 14 apresenta o total de horas de desconforto para cada orientação conforme o conjunto de componentes construtivos adotados.

Figura 14 – Total anual de horas de desconforto para cada componente construtivo conforme sua orientação



Fonte: Elaborada pela autora

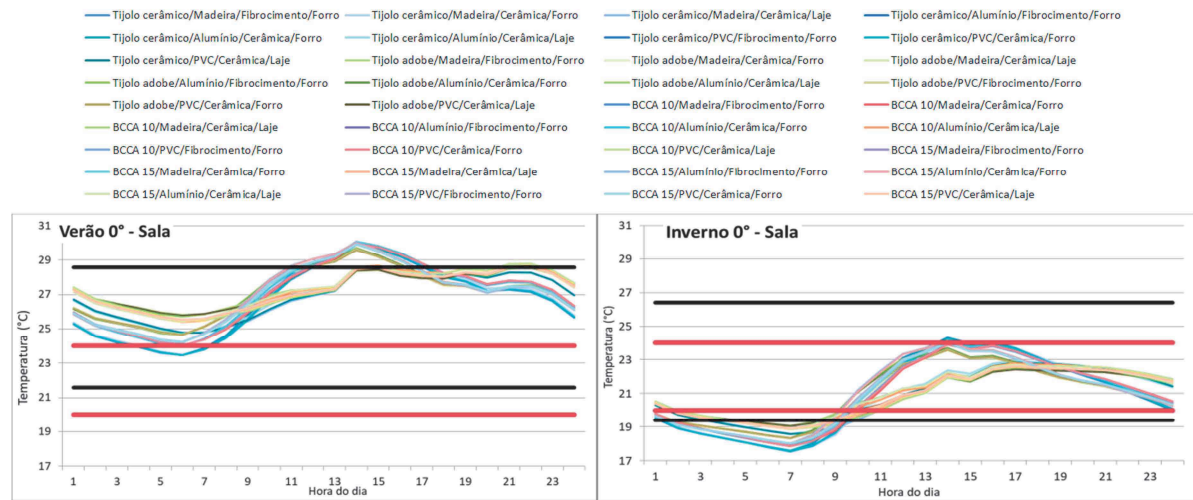
Por meio da Figura 14 é possível perceber que a orientação definida como 0° foi a que apresentou menor quantidade de horas de desconforto em todos os conjuntos analisados. Para essa orientação, os quartos encontram-se na fachada sul e a cozinha e sala de estar na fachada norte. A orientação de 180° apresentou seis casos em que somou a maior quantidade de horas de desconforto. As orientações de 90° e 270° foram as que apresentaram mais vezes o maior total de horas de desconforto, apresentando dezesseis e quatorze ocorrências, respectivamente. Ressalta-se que o único elemento de sombreamento considerado foi o prolongamento da cobertura na área de serviço, não sendo considerado o beiral da cobertura no resto da edificação nem de venezianas nas janelas.

Fixando as características de parede e esquadria, o componente construtivo de cobertura apresentou comportamento similar para todos os casos. O terceiro modelo de cobertura, com telha cerâmica e laje de concreto, resultou em um valor total de horas de desconforto

significativamente menor que os conjuntos com os outros modelos de cobertura. Essa variação está associada ao uso da laje maciça de concreto no lugar do forro de madeira.

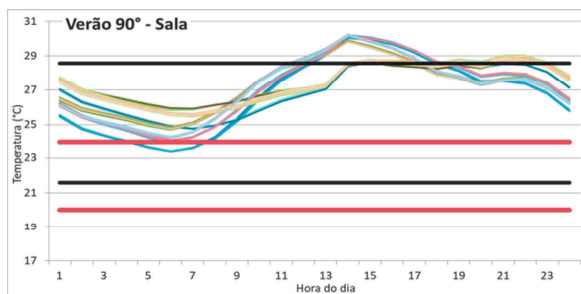
Para consideração da flutuação diária da temperatura, as temperaturas de dois dias característicos, um para o verão e outro para o inverno, foram analisadas. Os limites de temperaturas de desconforto por calor ou frio foram fixados como 24°C e 20°C, respectivamente, e identificados nos gráficos pela linha vermelha. As horas de desconforto calculadas por meio do método ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013 também foram identificadas no gráfico com a cor preta. A Figura 15 apresenta o resultado da flutuação da temperatura para a sala. Todos os cômodos de longa permanência foram analisados, no entanto não foi possível identificar diferença significativa de flutuação da temperatura entre os cômodos.

Figura 15 – Flutuação diária da temperatura na sala para dias típicos de verão e inverno

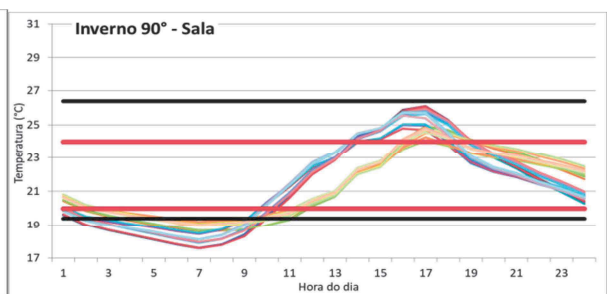


(a) Verão para orientação 0°

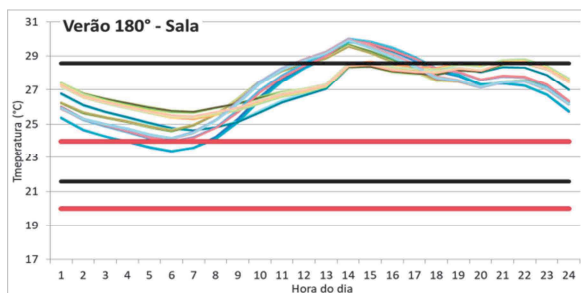
(b) Inverno para orientação 0°



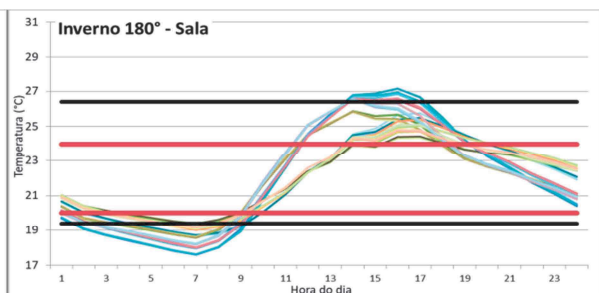
(c) Verão para orientação 90°



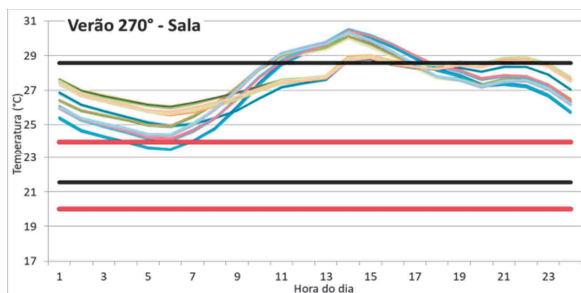
(d) Inverno para orientação 90°



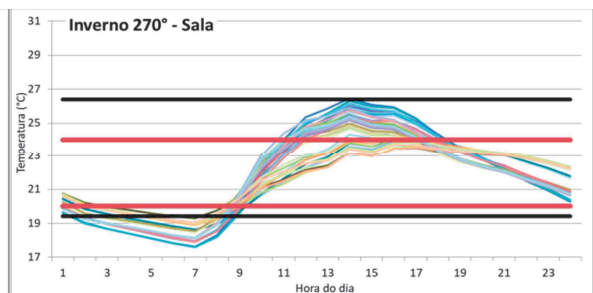
(e) Verão para orientação 180°



(f) Inverno para orientação 180°



(g) Verão para orientação 270°



(h) Inverno para orientação 270°

Para o verão, nota-se que na maioria das horas do dia a temperatura está acima da faixa dos 24°C, identificada em cor vermelha. Predominantemente, as edificações com cobertura de laje maciça de concreto apresentaram pico de temperatura inferior ao longo do dia. No entanto, no período matutino e noturno a temperatura atingida foi maior, o que representa redução da variação da temperatura ao longo do dia. A redução do pico facilita a regulação da temperatura por parte dos equipamentos de refrigeração, reduzindo o consumo energético, mesmo apresentando temperaturas maiores ao longo do dia. A orientação que apresentou o maior pico de temperatura foi a de 270°, na qual a maior fachada da sala está voltada para o leste, e a menor para norte.

No inverno, ao longo do dia, as temperaturas variaram de forma a apresentar tanto desconforto por frio como por calor. Entretanto, as temperaturas ficaram próximas da faixa de conforto, exigindo menos dos equipamentos de refrigeração para a regulação da temperatura. A orientação que apresentou maior pico de desconforto por calor foi a de 180°, com a maior fachada da sala voltada para oeste e a menor para norte. O desconforto por frio apresentou valores semelhantes em todas as orientações. Assim como para o verão, as edificações com laje na cobertura apresentaram menor variação diária da temperatura, sendo que, para alguns casos, a temperatura ao longo do dia manteve-se dentro da faixa de conforto estabelecida.

#### **4.1.2. Influência das características térmicas**

As Figuras 16 a 19 apresentam o resultado da análise da influência da transmitância térmica no total de horas de desconforto anual por edificação. O componente construtivo indicado ao lado do marcador é o fixado naquele ponto.

Figura 16 - Relação entre a transmitância térmica de cada componente construtivo e o total anual de horas de desconforto para a orientação 0°

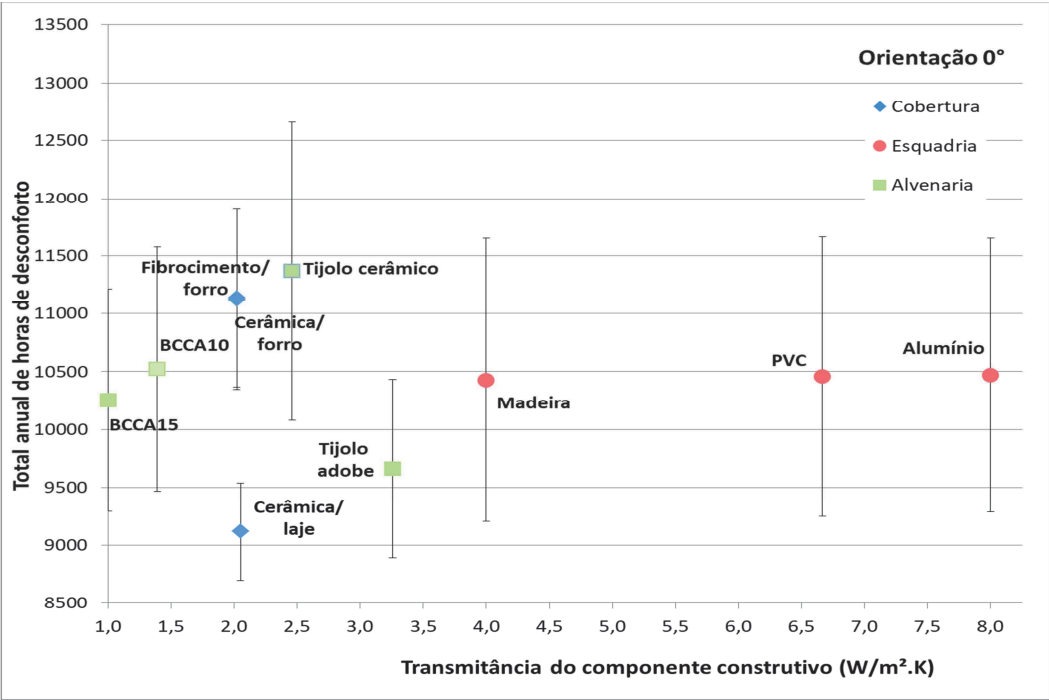


Figura 17 - Relação entre a transmitância térmica de cada componente construtivo e o total anual de horas de desconforto para a orientação 90°

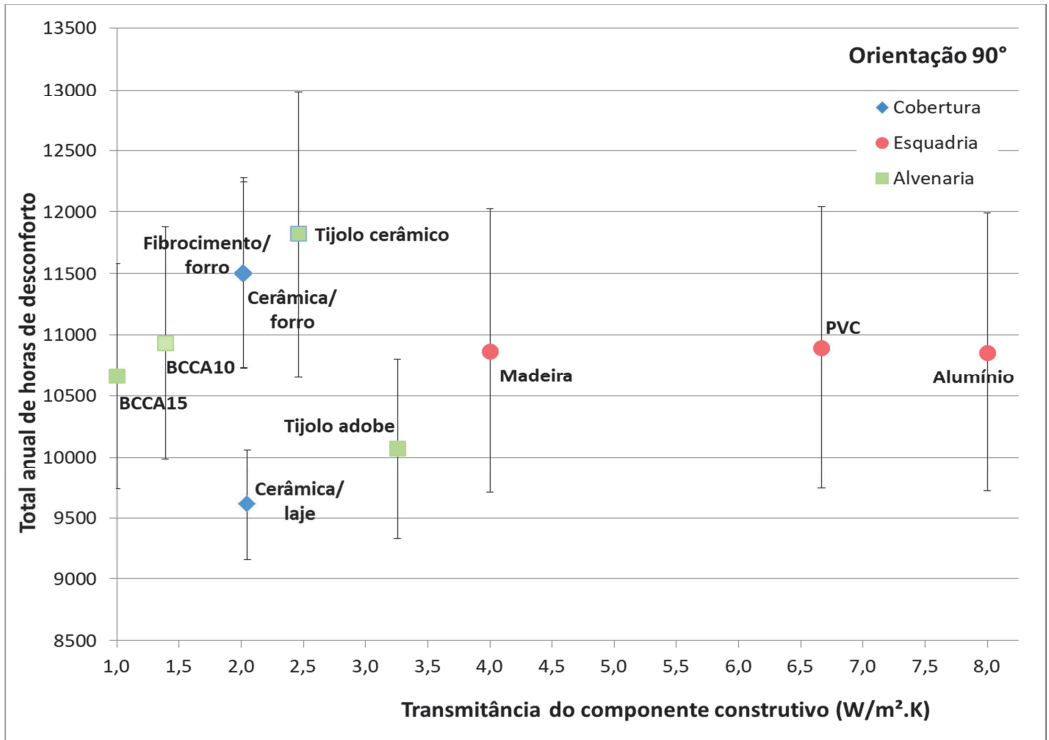


Figura 18 - Relação entre a transmitância térmica de cada componente construtivo e o total anual de horas de desconforto para a orientação 180°

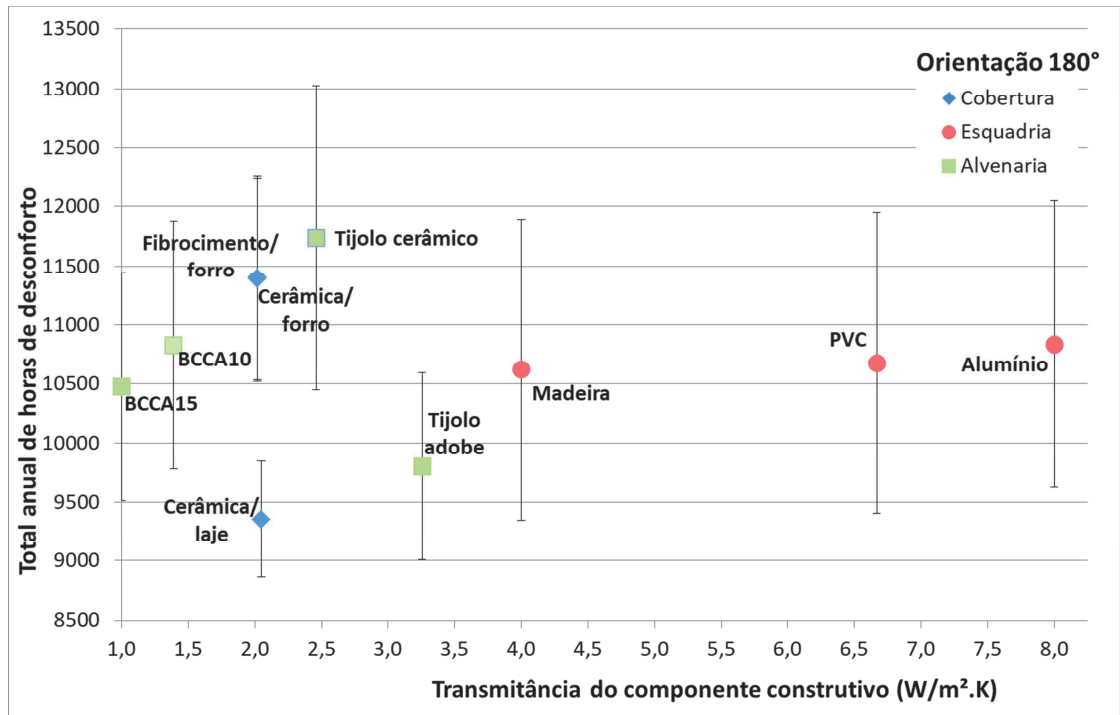
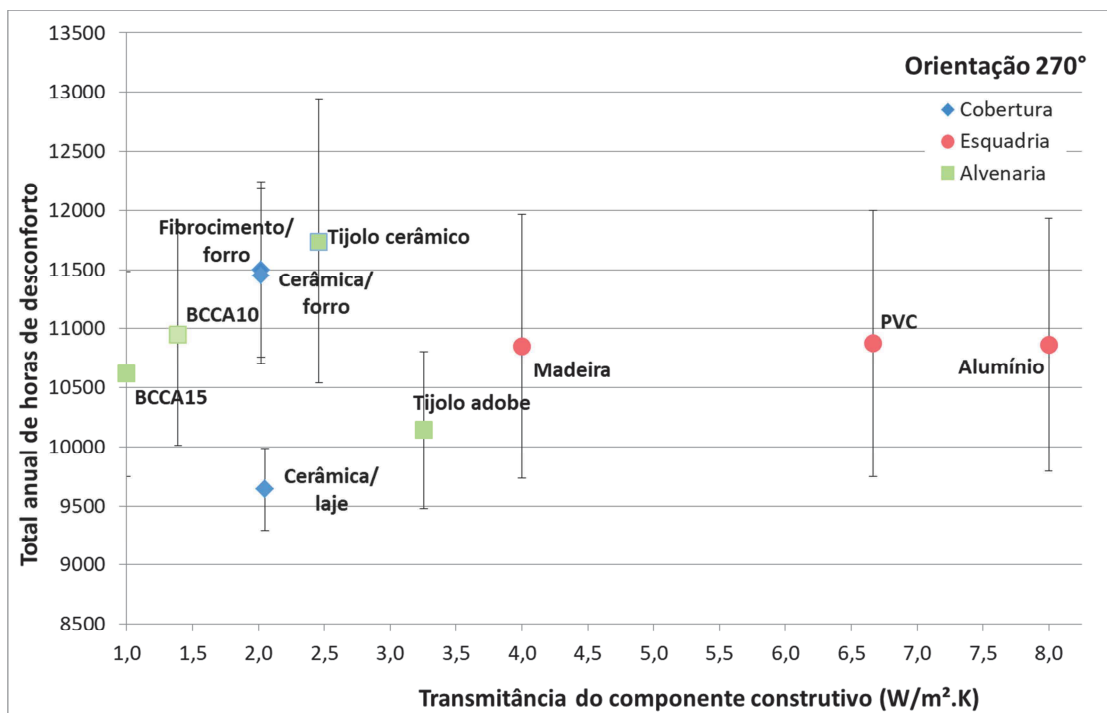


Figura 19 - Relação entre a transmitância térmica de cada componente construtivo e o total anual de horas de desconforto para a orientação 270°



O menor desvio padrão obtido foi o da cobertura com laje maciça, sendo ela a que obteve maior variação da média de horas de desconforto em relação aos outros componentes construtivos de cobertura. No entanto, a variação da transmitância térmica entre as coberturas foi a menor de todos os componentes construtivos. Isso representa a falta de uma função direta da transmitância térmica do material com o desempenho térmico da edificação.

Para as esquadrias quase não houve variação da média de horas de desconforto mesmo com a alta variação da transmitância. Entretanto, o valor elevado do desvio padrão em todos os sistemas indica bastante influência da transmitância térmica da cobertura e da parede no desempenho térmico da edificação.

Para os componentes construtivos de parede, o maior desvio padrão observado foi da parede de tijolo cerâmico e o menor da parede com tijolo de adobe, indicando a dependência da parede de tijolo cerâmico em relação aos outros componentes construtivos da edificação para um bom desempenho térmico. Percebe-se que a variação da transmitância térmica não apresentou um padrão de influência para os componentes construtivos de esquadria ou para os de parede, uma vez que tanto a parede com menor quanto a com maior transmitância térmica tiveram as menores horas de desconforto entre os conjuntos de parede.

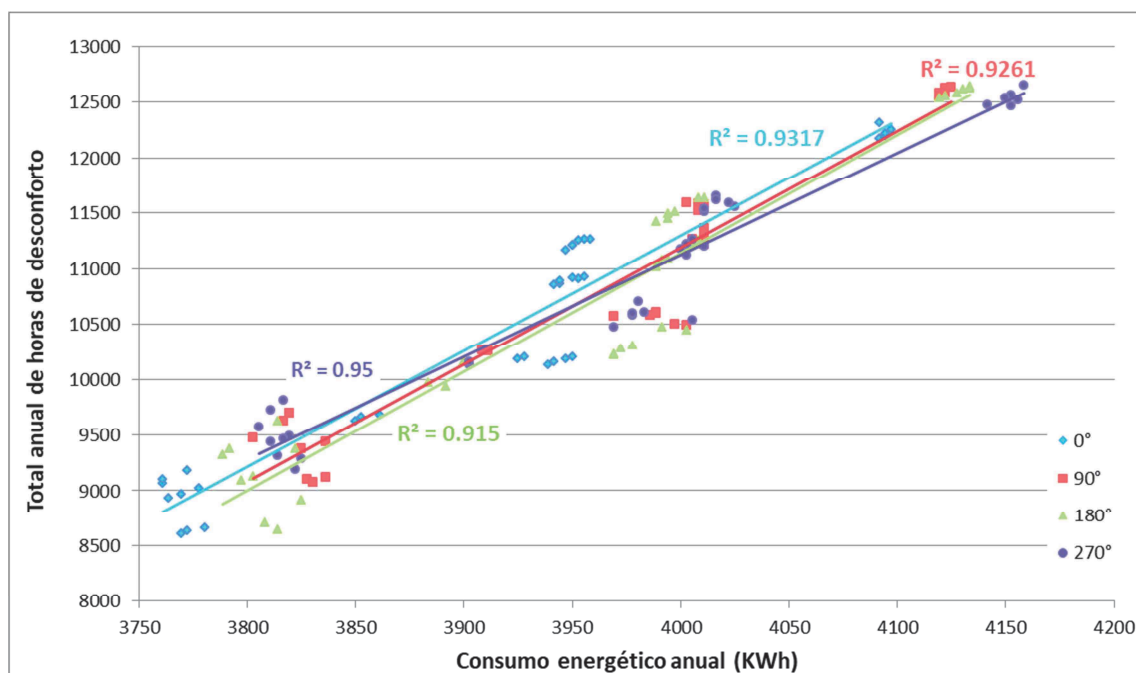
Entre as diferentes orientações testadas percebe-se que ocorreram pequenas variações nas médias das horas de desconforto dos componentes construtivos, indicando pouca influência da orientação no desempenho do conjunto.

#### **4.1.3. Consumo energético**

A análise do consumo energético considerou as horas de desconforto obtidas com a simulação sem uso de refrigeração artificial, o total de consumo energético anual com sistema de refrigeração artificial, os componentes construtivos e orientações de cada edificação. A Figura 20 apresenta a linha de tendência obtida para cada orientação quando considerado o total de horas de desconforto e o consumo energético de cada edificação.



Figura 20 – Relação do total anual de horas de desconforto e o consumo energético anual



É possível perceber que o consumo energético entre as orientações não seguiu a mesma taxa de crescimento conforme o aumento das horas de desconforto, apesar de muito semelhantes. A orientação com maior crescimento foi a de 180°, que apresenta a maior fachada da sala orientada para o norte e os quartos orientados para sul. A orientação que obteve menor taxa de crescimento foi a de 270°, que tem a maior fachada da sala orientada para o leste e os quartos orientados para oeste.

Por meio da análise dos dados obtidos com a simulação foi possível perceber que as orientações que tiveram um total maior de horas de desconforto por calor apresentaram valores maiores de consumo energético. Relacionando à flutuação diária de temperatura, é possível concluir que temperaturas mais distantes da faixa de conforto provocam maior consumo energético, atingindo valores de consumo iguais ou maiores que situações com menos horas de desconforto.

Selecionando as 25 edificações com menor consumo (entre 3819,4 kWh e 3761,1 kWh anuais) e as 25 com maior (entre 4025 kWh e 4158,3 kWh anuais), foi possível levantar características padrões para redução do consumo energético ao longo da operação da edificação. As Figuras 21 e 22 apresentam a frequência de ocorrência dos componentes

construtivos das 25 edificações com menor consumo (Figura 21) e das 25 edificações com maior consumo (Figura 22).

Figura 21 – Características das edificações com menor consumo energético anual

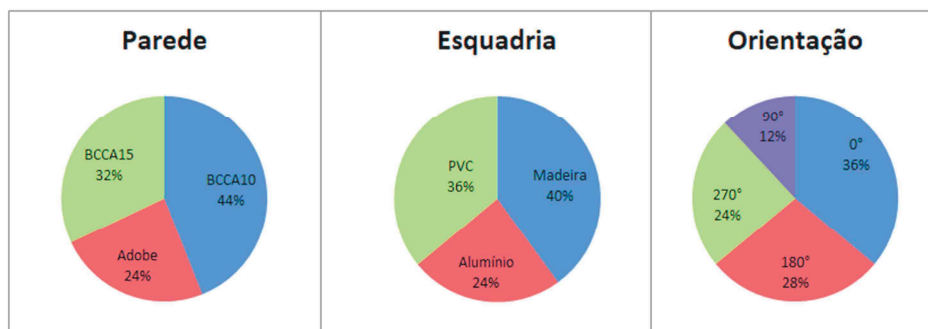
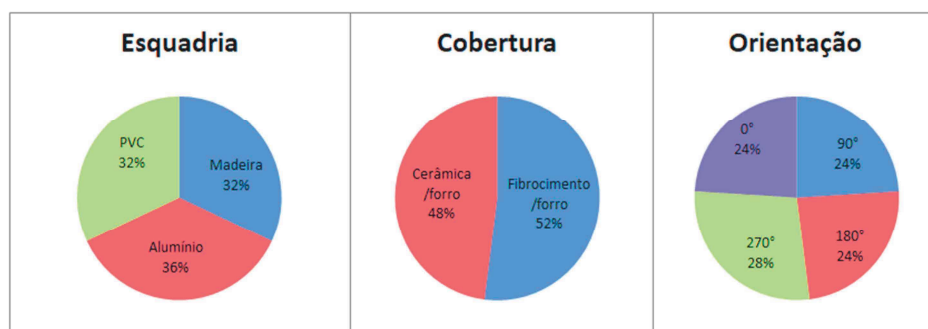


Figura 22 – Características das edificações com maior consumo energético anual



Para as edificações com menor consumo energético anual, todas as coberturas eram de telha cerâmica com laje maciça de concreto. As coberturas de telha de fibrocimento com forro e de telha cerâmica com forro não apresentaram diferença significativa de ocorrência entre si nas edificações com maior consumo.

Em relação às paredes, não houve nenhuma ocorrência de alvenaria com tijolo cerâmico nas edificações com menor consumo, no entanto, todas as de maior consumo eram de alvenaria cerâmica. Para as 25 com menor consumo a que prevaleceu foi a de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento de argamassa. As esquadrias não apresentaram influência significativa no consumo energético.

A orientação de 0°, que tem a maior fachada da sala orientada a sul e os quartos orientados para norte foi a que apresentou maior frequência nas edificações de menor consumo energético e não teve ocorrência em nenhuma edificação de maior consumo. A orientação de 90°, que tem a maior fachada da sala para oeste e os quartos para leste, foi a única orientação que não ocorreu nas edificações com menor consumo.

A Tabela 14 apresenta o total de horas de desconforto para as estações de verão e inverno e o total anual e o valor do consumo energético para os cinco conjuntos com menor consumo energético.

Tabela 14 – Total de horas de desconforto por estação e anual e total de consumo energético anual e de aquecimento e resfriamento para as edificações com menor consumo

Conjunto	Horas de desconforto			Total
	Orientação	Verão	Inverno	
BCCA10/PVC/laje	0°	4751	4353	9104
BCCA10/madeira/laje	0°	4724	4346	9070
BCCA15/madeira/laje	0°	4260	4669	8929
Adobe/madeira/laje	0°	3784	4821	8605
BCCA15/PVC/laje	0°	4293	4673	8966
Conjunto	Consumo energético anual (KWh)			Total
	Orientação	Aquecimento	Resfriamento	
BCCA10/PVC/laje	0°	677.78	1227.77	1905.6
BCCA10/madeira/laje	0°	680.55	1225.00	1905.6
BCCA15/madeira/laje	0°	691.66	1216.66	1908.3
Adobe/madeira/laje	0°	700.00	1213.89	1913.9
BCCA15/PVC/laje	0°	691.66	1222.22	1913.9

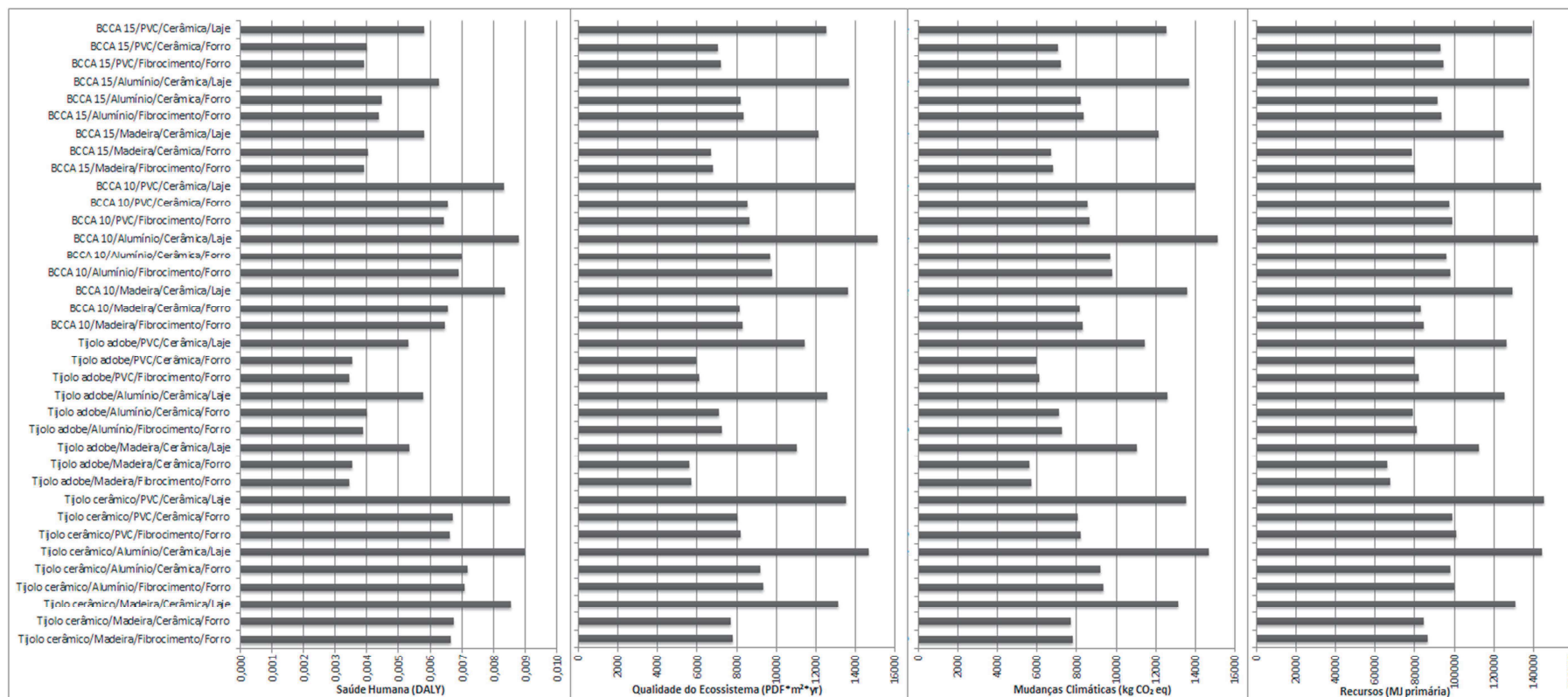
Os conjuntos que apresentaram os menores valores de consumo energético foram aqueles compostos por parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento de argamassa e cobertura com telha cerâmica e laje maciça, variando o material da esquadria em madeira e PVC. A orientação das edificações selecionadas seguiu o padrão obtido para as horas de desconforto, com a orientação de 0° apresentando o menor valor.

## **4.2. Interpretação dos dados de impacto ambiental do ciclo de vida**

### **4.2.1. Categorias de dano**

O impacto utilizado inicialmente para as categorias de dano foi somente em relação à construção da edificação. A Figura 23 apresenta os valores de impacto para os 36 casos avaliados em cada categoria de dano. Como somente os materiais foram considerados nessa etapa, a orientação das edificações não foi avaliada.

Figura 23 - Valores de impacto por categoria de dano para a construção da edificação



Para a categoria de dano de saúde humana, percebe-se que, entre as paredes, a composta por tijolos de adobe obteve os menores valores de impacto. Entretanto, o valor obtido é muito próximo ao da parede de bloco de concreto celular autoclavado de 15cm. Para as esquadrias, houve pequena variação entre os valores, com predominância de maior impacto para a de alumínio. Entre as coberturas, a telha cerâmica e a de fibrocimento não apresentaram variação significativa, entretanto o uso de laje maciça em comparação com o forro de madeira apresentou grande diferença, com menor impacto para o forro.

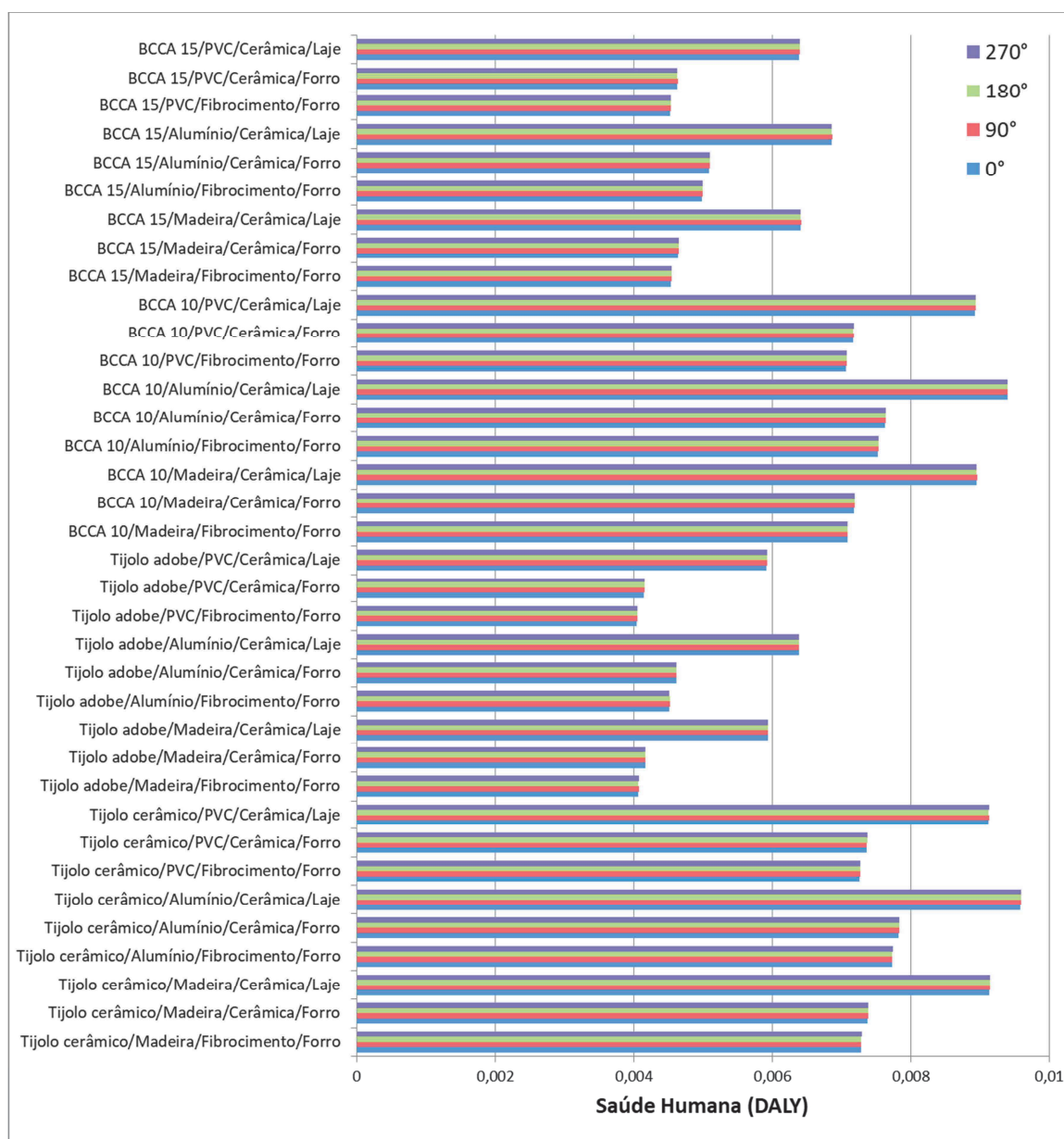
Para a categoria de dano de qualidade do ecossistema, percebe-se muita influência da variação do componente construtivo de cobertura. O uso da laje maciça aumentou intensamente o impacto, sendo que para algumas edificações o valor quase foi dobrado. Entre as paredes e as esquadrias o padrão seguiu o mesmo que o observado para a saúde humana.

Para as categorias de dano de mudanças climáticas e recursos, o padrão observado é semelhante ao obtido para a qualidade do ecossistema, com influência significativa do uso da laje e pouca variação entre os outros componentes construtivos. Entretanto, para as paredes predominou o menor impacto para a de tijolo de adobe, seguida pela composta por bloco de concreto celular autoclavado de 15cm.

Dentre os materiais utilizados é perceptível o valor de impacto agregado à edificação pelo uso do cimento e do aço, utilizados na construção da laje maciça. Essa influência aparece também para as paredes, que prevaleceram com os maiores valores os componentes construtivos com uso de revestimento em argamassa de cimento. Para as esquadrias, o PVC teve impacto mais expressivo na categoria de recursos, entretanto, o alumínio prevaleceu com os maiores valores em todas elas.

Em seguida, além da construção da edificação, considerou-se a orientação e o consumo energético para o primeiro ano de uso. As Figuras 24 a 27 apresentam o resultado obtido para as categorias de dano de saúde humana, qualidade do ecossistema, mudanças climáticas e recursos, respectivamente.

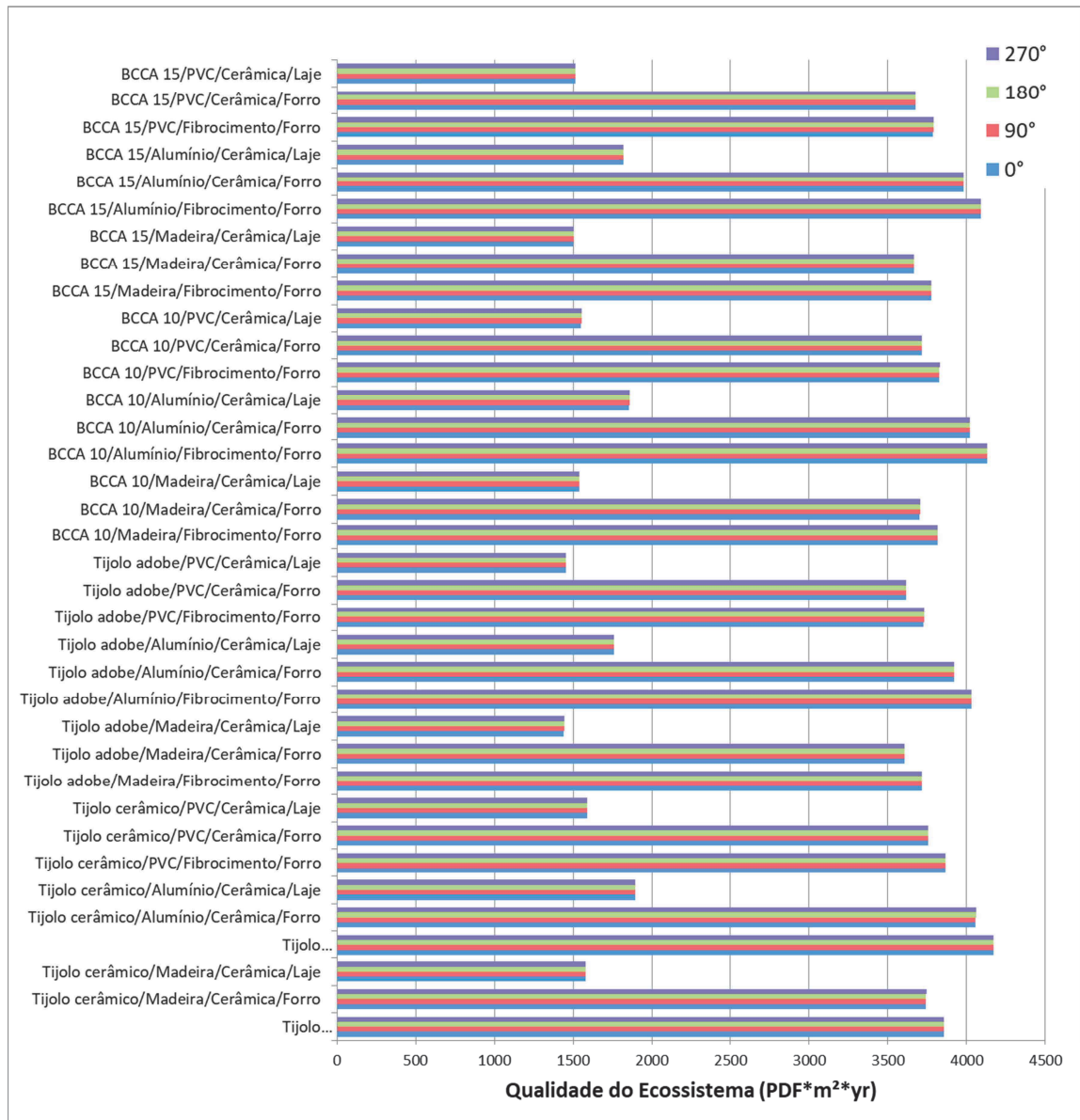
Figura 24 – Valores de impacto para todas as edificações considerando a construção e o primeiro ano de operação na categoria de dano de saúde humana



A parede que apresentou menor impacto ambiental para a saúde humana foi a composta por tijolos de adobe, enquanto que as de tijolo cerâmico e de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento apresentaram os maiores valores. A variação entre as esquadrias não é significativa. Para as coberturas, a que apresenta laje maciça obteve impacto significativamente maior em relação às outras. Isso demonstra a influência da fabricação dos materiais mesmo com a consideração do consumo energético no primeiro ano no ciclo de vida

da edificação. As orientações apresentaram pequenas variações entre si provenientes exclusivamente do consumo energético, uma vez que a composição das edificações não é alterada na comparação entre as orientações.

Figura 25 - Valores de impacto para todas as edificações considerando a construção e o primeiro ano de operação na categoria de dano de qualidade do ecossistema

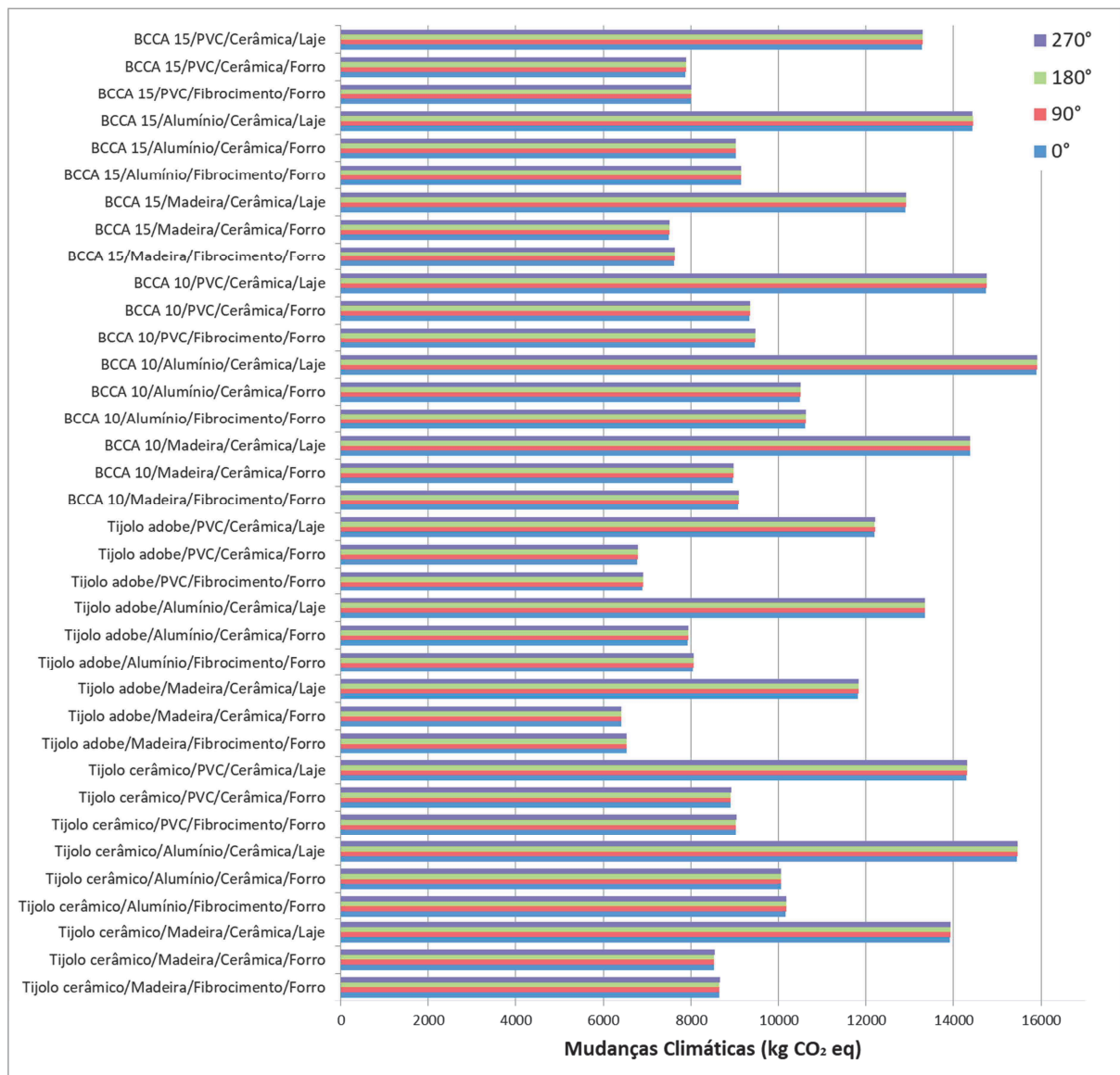


Para a categoria de dano da qualidade do ecossistema o padrão observado demonstra a prevalência do consumo energético no impacto ocasionado. A diferença de valor para os



componentes construtivos de esquadria e parede é baixa, com menor impacto para a parede de tijolo de adobe e maior para a de tijolo cerâmico. Entretanto, a variação para os componentes construtivos de cobertura segue o padrão obtido no consumo energético, para o qual o uso de laje maciça apresentou grande diminuição de valor em relação às outras coberturas.

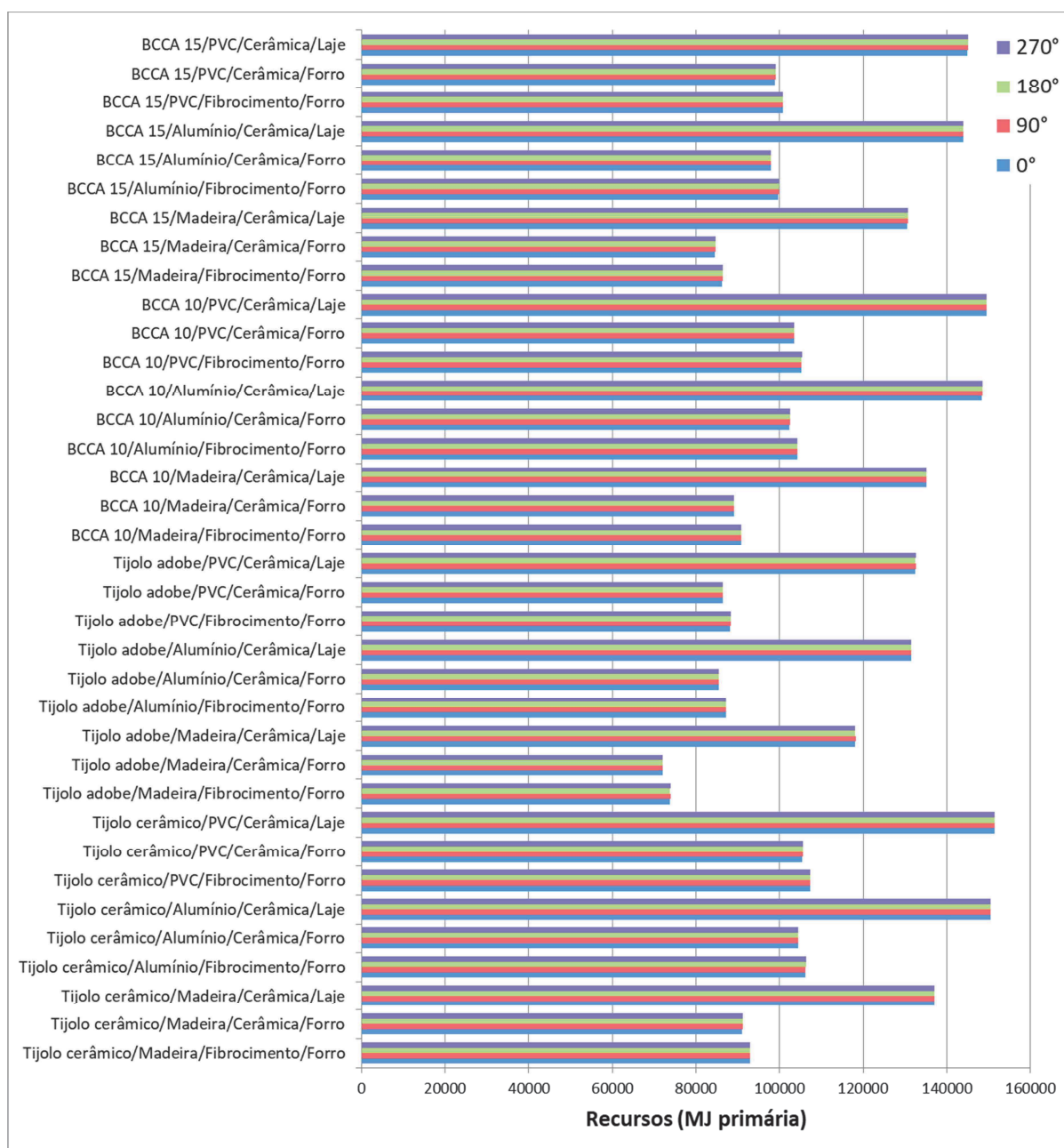
Figura 26 - Valores de impacto para todas as edificações considerando a construção e o primeiro ano de operação na categoria de dano de mudanças climáticas



Para as paredes, o padrão apresentado segue o mesmo obtido para a categoria de dano de saúde humana, com a parede de tijolo de adobe apresentando menor impacto e as de tijolo

cerâmico e de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento maior. Para as esquadrias houve grande variação entre a de madeira e as de PVC e alumínio, que atingiram os maiores valores de impacto. Para as coberturas prevaleceu valor maior de impacto para a cobertura com laje maciça. Para as orientações o padrão seguiu o mesmo observado anteriormente. A influência do consumo energético é baixa, característica perceptível pela falta de variação no padrão quando considerada somente a construção da edificação.

Figura 27 - Valores de impacto para todas as edificações considerando a construção e o primeiro ano de operação na categoria de dano de recursos



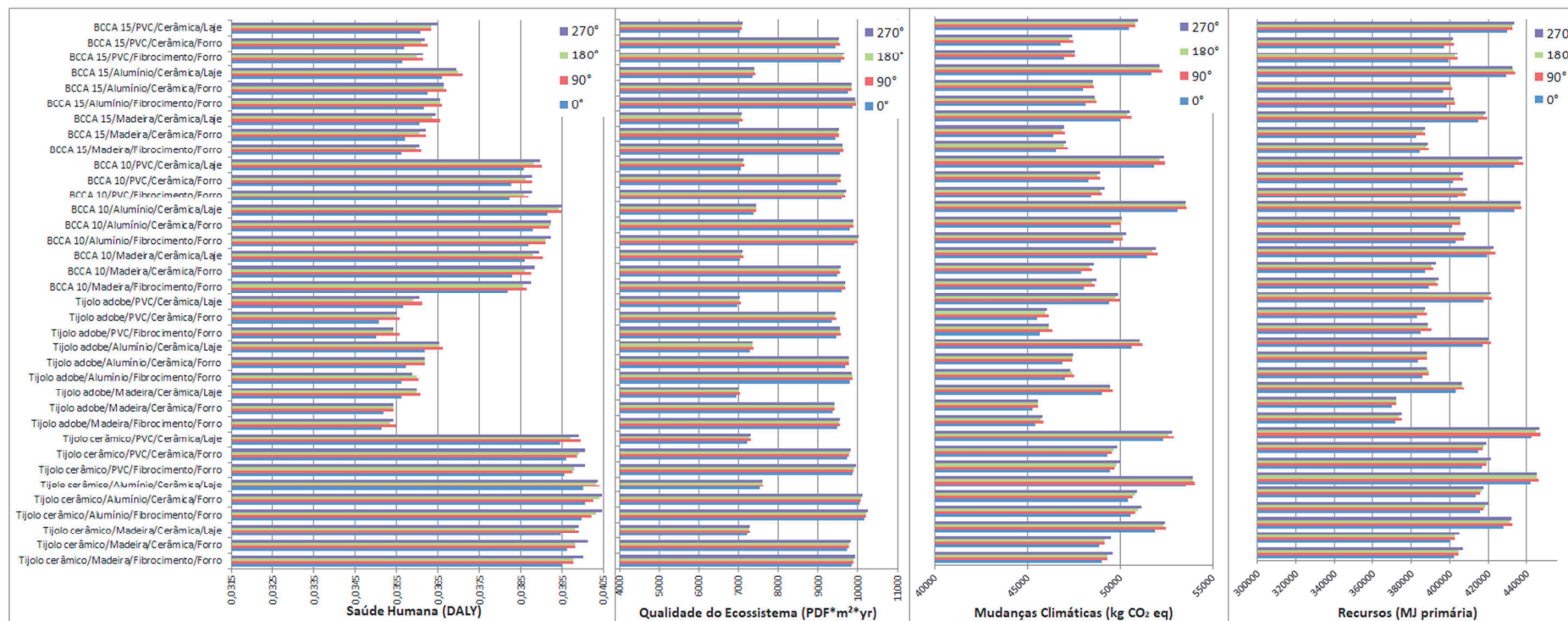
Para as paredes o padrão para menor consumidor seguiu o mesmo observado nas categorias anteriores, no entanto a diferença entre as paredes de bloco de concreto celular autoclavado não é significativa. Para as esquadrias percebeu-se grande variação entre a de madeira para as de PVC e alumínio, que apresentaram os maiores valores de impacto.

Mesmo considerando o consumo energético somente do primeiro ano de operação, as alterações no valor das categorias de dano, principalmente da qualidade do ecossistema,

demonstraram a importância da realização de simulações computacionais ou de medições de consumo energético para operação da edificação.

A Figura 28 apresenta os valores de impacto obtidos quando considerada a construção e a operação da edificação ao longo da vida útil de 50 anos.

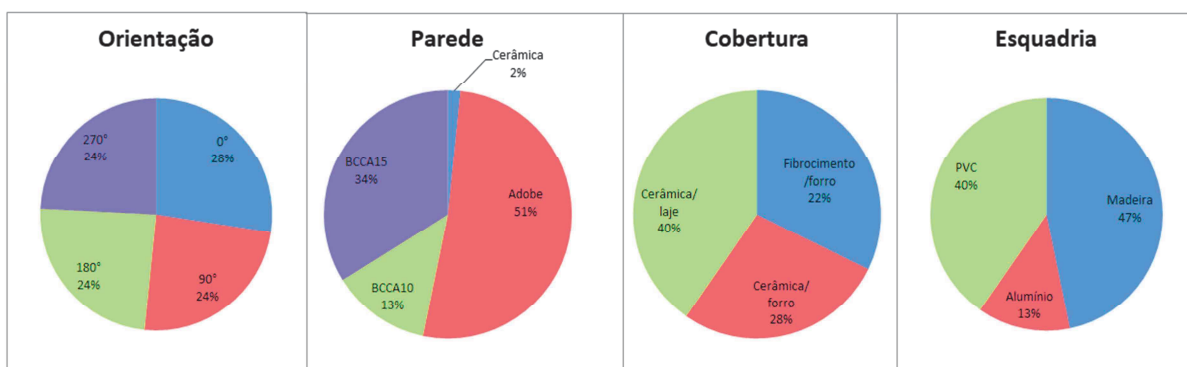
Figura 28 – Valores de impacto para as categorias de dano considerando a construção e operação da edificação ao longo da vida útil



Quando é feita a consideração de 50 anos de consumo energético para a edificação percebe-se que o padrão das categorias de dano é similar ao obtido para o cenário de um ano de consumo. Essa característica indica a forte influência da fabricação dos materiais no ciclo de vida.

Em seguida, foram selecionados todos os conjuntos que apareceram pelo menos uma vez entre as 25 edificações com menor valor de impacto para cada categoria de dano. A seleção resultou em 62 conjuntos. A Figura 29 apresenta a frequência de ocorrência de cada componente construtivo e das orientações para as edificações selecionadas.

Figura 29 – Frequência de ocorrência por componente construtivo e orientação das edificações com menor valor de impacto nas categorias de dano



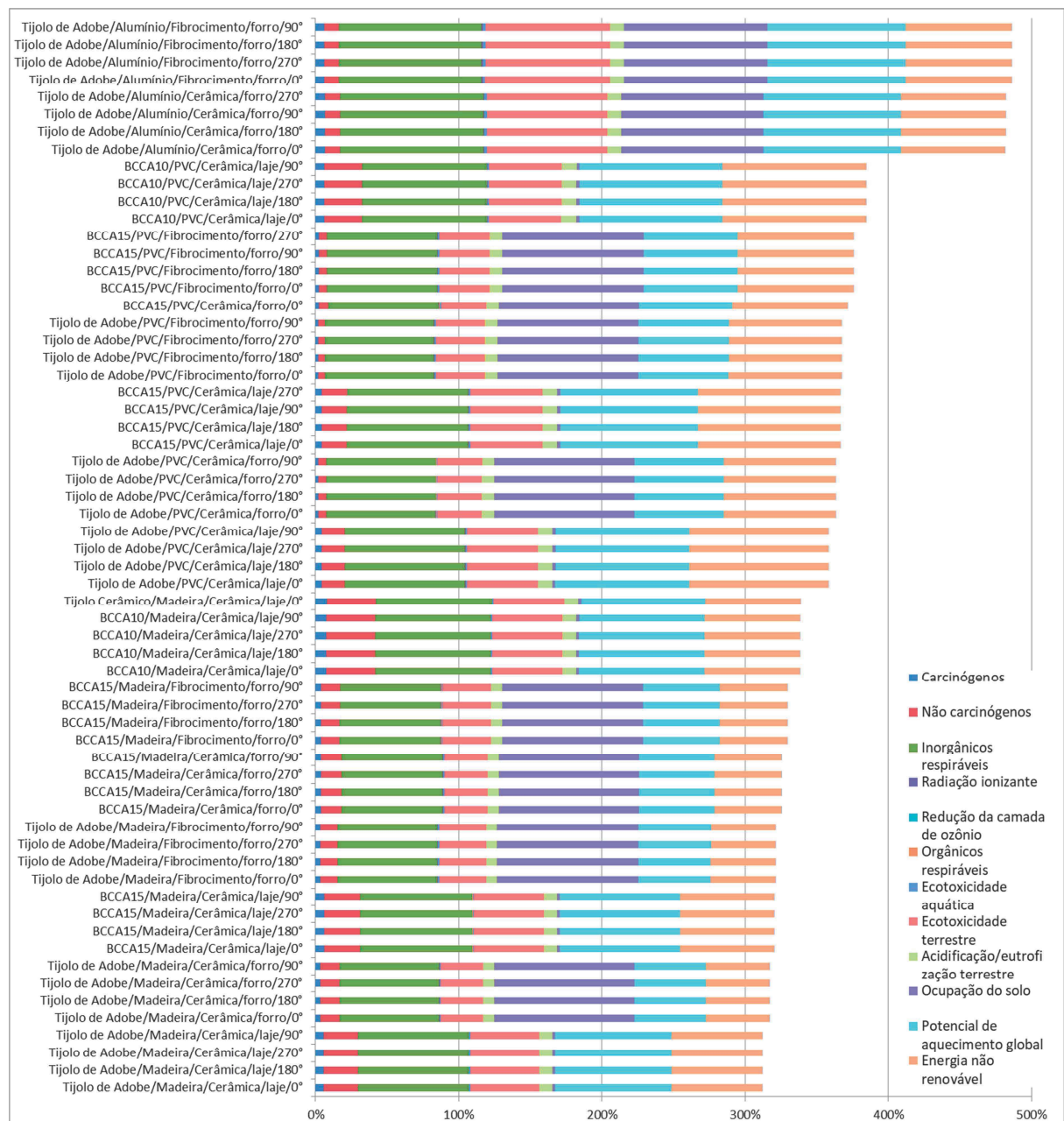
Apesar da maior frequência para a orientação 0°, não houve destaque significativo para nenhuma orientação. Para as paredes, a composta por tijolo de adobe apresentou ocorrência em mais da metade das edificações. Para os componentes construtivos de cobertura, a de telha cerâmica com laje maciça de 10cm teve destaque, ocorrendo em 52% das edificações selecionadas. No entanto, não houve diferença significativa entre as outras coberturas. A esquadria de alumínio foi a que obteve menor frequência. Para as esquadrias de madeira e PVC não houve diferença significativa no valor de ocorrência.

A Tabela 35 do APÊNDICE C apresenta os conjuntos selecionados e os valores para cada categoria de dano. Esses conjuntos foram utilizados para análise das categorias de impacto, realizada a seguir.

#### 4.2.2. Categorias de impacto

As Figuras 31 a 34 do APÊNDICE D apresentam o valor absoluto acrescido por cada categoria de impacto em cada categoria de dano. O resultado da soma dos percentuais de cada categoria de impacto é apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Soma dos percentuais de impacto para cada edificação analisada



O conjunto de componentes construtivos que apresentou menor valor de impacto com a avaliação do ciclo de vida considerando a construção e o primeiro ano de operação da edificação foi o composto por parede de tijolo de adobe, esquadrias de madeira e cobertura com telha cerâmica e laje maciça de concreto. Esse conjunto apresentou menor valor para todas as orientações analisadas. O segundo conjunto com o menor valor de impacto no ciclo de vida apresentou variação somente na cobertura em relação ao anterior, utilizando o forro de madeira no lugar da laje maciça. Nenhuma das edificações citadas acima foi a que recebeu destaque para menor consumo energético, apresentando a importância da consideração do ciclo de vida de toda a edificação quando almeja-se a criação de um projeto de baixo impacto ambiental.



## 5. Conclusão

### 5.1. Conclusões gerais

Por meio deste estudo foi possível avaliar o ciclo de vida de diferentes conjuntos de parede, esquadria e cobertura. A simulação computacional desenvolvida permitiu a análise do desempenho térmico das edificações durante sua vida útil e da sua relação com os materiais e orientações utilizados.

A partir da simulação computacional das edificações obteve-se o total de horas anuais de desconforto e o consumo energético por edificação. Inicialmente o total de horas de desconforto foi analisado, permitindo a comparação de desempenho entre as orientações. As que apresentaram menor valor de horas de desconforto foram as que tiveram os ambientes de longa permanência com as maiores fachadas voltadas para norte e sul.

Correlacionando as horas de desconforto com o consumo energético anual da edificação, verificou-se que houve variação no consumo energético entre as orientações mesmo com valores equivalentes de horas de desconforto. Essa variação ocorre principalmente pelo distanciamento da temperatura em relação à zona de conforto estabelecida. A contagem das horas de desconforto permite o desenvolvimento de uma análise quantitativa, porém não representa relação direta com o consumo energético por não identificar a intensidade das temperaturas analisadas.

O desempenho térmico dos componentes construtivos utilizados foi semelhante entre as orientações analisadas, indicando que não há mudança no padrão de desempenho dos materiais devido à alteração da orientação para a mesma zona térmica. Entre as características dos materiais, a transmitância térmica foi analisada e relacionada com o total de horas de desconforto. Não foi possível identificar nenhuma função direta relacionando as duas características analisadas.

Quando analisado o consumo energético, o conjunto que apresentou menor valor de consumo anual foi o composto por parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento, esquadrias em madeira e cobertura com telha cerâmica e laje maciça. A orientação foi de 0°, que tem a maior fachada da sala orientada a sul e os quartos para o norte.

A avaliação do ciclo de vida foi desenvolvida com base em três cenários: a construção da edificação, a construção e operação do primeiro ano de uso da edificação e a construção e operação ao longo dos 50 anos de vida útil da edificação. A consideração dos diferentes cenários para o ciclo de vida permitiu verificar que o impacto ambiental, mesmo quando considerado todo o ciclo de vida útil, apresenta forte influência dos materiais utilizados na construção da edificação, considerando a produção de energia na matriz energética brasileira.

Após a conclusão da avaliação do ciclo de vida, a interpretação dos dados obtidos permitiu a identificação de algumas tendências entre os componentes construtivos estudados. Para as paredes, a composta por tijolo de adobe destacou-se com menor impacto ao longo do ciclo de vida. Entretanto, a parede de blocos de concreto celular de 15cm de espessura sem revestimento também apresentou desempenho satisfatório. Para as esquadrias não houve diferença significativa, porém, a esquadria de alumínio apresentou maior valor de impacto no ciclo de vida. Para as coberturas, a variação das telhas não apresentou influência significativa no ciclo de vida. O uso de forro ou laje maciça para a vedação horizontal da edificação teve grande variação no impacto ambiental. Para a construção da edificação, o uso de laje maciça aumenta de forma significativa o impacto no ciclo de vida. Entretanto, a redução do consumo energético provocada pelo seu uso apresenta resultados positivos. Para a categoria de dano de qualidade do ecossistema o impacto da cobertura com laje passou a ser inferior aos outros componentes construtivos de cobertura já no primeiro ano de consumo. É importante ressaltar que o consumo energético faz referência a uma edificação e interesse social de um pavimento com quatro habitantes. Padrões de consumo diferentes podem apresentar variação no valor de impacto ao longo do ciclo de vida.

Por meio da análise desenvolvida considerando inicialmente as categorias de dano e em seguida as categorias de impacto, selecionou-se o conjunto com menor impacto no ciclo de vida para uso em habitações de interesse social em Florianópolis. Considerou-se a construção e o primeiro ano de operação da edificação. O conjunto selecionado é composto por parede de tijolo de adobe, esquadrias de madeira e cobertura com telha cerâmica e laje maciça de concreto.

## **5.2. Limitações do estudo**

Os objetivos do trabalho foram alcançados, no entanto algumas limitações foram encontradas e devem ser consideradas. As principais limitações foram:

- Imprecisão de dados: reconhece-se como limitação a falta de precisão de dados do arquivo climático utilizado para simulação e falta de precisão ao considerar o consumo energético ao longo da vida útil;
- Inexistência de padrão: considera-se a inexistência de padronização da modelagem da edificação para a simulação e dos dados utilizados para o desenvolvimento do inventário dos componentes construtivos como limitação do estudo;
- Falta de dados: reconhece-se como limitação a falta de dados sobre frequência e estimativa de consumo de materiais para reformas, assim como a escassez de bancos de dados nacionais para uso na avaliação do ciclo de vida;
- Tem-se como limitação a não consideração de trocas de umidade na simulação computacional, principal característica da parede de tijolos de adobe;
- O estudo desenvolvido não levou em consideração análises econômicas e os impactos sociais originados pela construção de edificações com os materiais abrangidos. Por se tratar de um estudo voltado para habitações de interesse social e para o desenvolvimento sustentável do setor, essas análises tornam-se essenciais para auxiliar a tomada de decisão no processo de criação de projetos.

### **5.3. Sugestões para futuros trabalhos**

São sugeridos outros possíveis temas para discussão em futuros trabalhos:

- Avaliação do ciclo de vida: sugere-se a avaliação do ciclo de vida das edificações para as outras zonas bioclimáticas do Brasil assim como para projetos com mais de um pavimento destinados à habitação de interesse social;
- Consumo energético: indica-se a análise da variação no ciclo de vida com o uso do consumo energético estimado e o real ao longo da vida útil;
- Produção de informação: sugere-se o desenvolvimento de bancos de dados nacionais de fabricação de materiais para uso em avaliações do ciclo de vida e de métodos padronizados para interpretação dos dados obtidos por meio de avaliação do ciclo de vida no setor da construção civil;
- Comparar a viabilidade econômica dos conjuntos de componentes construtivos analisados;

- Analisar a influência no impacto ambiental com a incorporação de rejeitos da construção civil nos componentes construtivos analisados.

## Referências

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ANSI (Approved American National Standard), 2013.
- ASADOLLAHFARDI, G.; ASADI, M.; KARIMI, S. Life-Cycle Assessment of Construction in a Developing Country. **Environmental Quality Management**, v. 24, n. 4, p.11-21, jun. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/tqem.21398>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8039:1983**: Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte2: Parâmetros de conforto térmico. 01 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica e do fator solar de elementos e componentes de edificações. 01 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 34 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. 04 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 63 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. 04 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 73 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 21 p.
- AVILA, Antonio Victorino; LIBRELOTTO, Liziane Ilha; LOPES, Oscar Ciro. **Orçamento de Obras**: Construção Civil. Florianópolis: Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul, 2003.
- BOSA, Augusto Macarini. **Análise de Eficiência Energética de Projetos de Residências do Programa Minha Casa Minha Vida**. 2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

- BRASIL. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente (Ed.). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017**: Relatório pleno. Brasília: ANA (Agência Nacional de Águas), 2017. 169 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Epe, 2017. 292 p.
- BRASKEM. **Boletim Técnico Nº 03 PVC**: Propriedades de referência dos compostos de PVC. Braskem, 2002. 12 p.
- BUYLE, Matthias; BRAET, Johan; AUDENAERT, Amaryllis. Life cycle assessment in the construction sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p.379-388, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>.
- CB3E, CENTRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Procel Edifica. **Manual para Aplicação do RTQ-R**. Florianópolis: Eletrobras, 2011. 202 p.
- CIROTH, Andreas. ICT for environment in life cycle applications OpenLCA — A new open source software for life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s.l.], v. 12, n. 4, p.209-210, jun. 2007.
- CURRAN, Mary Ann. Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability. **Current Opinion in Chemical Engineering**, Cincinnati, v. 2, n. 3, p.273-277, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coche.2013.02.002>.
- D'OCA, Simona; HONG, Tianzhen; LANGEVIN, Jared. The human dimensions of energy use in buildings: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 81, p.731-742, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.019>.
- ESTADO DE SANTA CATARINA. **Lei Complementar nº 060/2000, de 28 de agosto de 2000**. Institui o código de obras e edificações de Florianópolis e dá outras providências. Florianópolis
- GHISI, Enedir; VIEIRA, Abel Silva; ROSA, Aline Schaefer da; MARINOSKI, Ana Kelly; SILVA, Arthur Santos; BALVEDI, Bruna Faitão; ALMEIDA, Laiane Susan Silva. **Uso racional de água e eficiência energética em habitações de interesse social: Volume 1— Hábitos e indicadores de consumo de água e energia**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE, 2015. 82 p.
- GREENDELTA. **Why we started the development of OpenLCA**. Disponível em: <<http://www.OpenLCA.org/the-idea/>>. Acesso em: 01 maio 2018.
- HARISH, V.s.k.v.; KUMAR, Arun. A review on modeling and simulation of building energy systems. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p.1272-1292, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.040>.

- HERRMANN, Ivan T.; MOLTESEN, Andreas. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 86, p.163-169, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>.
- HUMBERT, Sébastien ; SCHRYVER, An De; BENGGOA, Xavier; MARGNI, Manuele; JOLLIET, Olivier. **IMPACT 2002+**: User guide. Quantis, 2012. 40 p.
- IEA, International Energy Agency. **World Energy Outlook 2017**. 2017. Disponível em: <<http://www.iea.org/weo2017/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.
- INMETRO. **Portaria Nº 50, de 01 de Fevereiro de 2013: ANEXO GERAL V – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS**. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro, 27 nov. 2017.
- ITÁLIA. World Water Assessment Programme. Un-water. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017: Águas Residuais: O recurso inexplorado**. Perúgia: Programa Mundial das Nações Unidas Para Avaliação dos Recursos Hídricos, 2017. 12 p.
- KYLILI, Angeliki; ILIC, Milos; FOKAIDES, Paris A. Whole-building Life Cycle Assessment (LCA) of a passive house of the sub-tropical climatic zone. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 116, p.169-177, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.010>.
- LASSIO, João Gabriel Gonçalves de. **APLICAÇÃO DO PROGRAMA SIMAPRO NA AVALIAÇÃO DOS CICLOS DE VIDA DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO PARA UM CONJUNTO HABITACIONAL**. 2013. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- LOPES, Thiago do Prado. **Desempenho térmico de habitações de interesse social com diferentes sistemas construtivos em Santa Catarina**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- MARINOSKI, Dr. Deivis Luis. **Relatório de avaliação de propriedades térmicas de paredes de alvenaria de vedação em blocos de concreto celular autoclavado**. CELUCON INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE CONCRETOS LTDA. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE, 2015.
- MASOSO, O.t.; GROBLER, L.j.. The dark side of occupants' behaviour on building energy use. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 2, p.173-177, fev. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.009>.

- MENESES, Tiago André da Fonseca. **Estudo do comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe**. 2010. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Instrução Normativa nº 14, de 22 de março de 2017**. Regulamenta o Programa Minha Casa, Minha Vida - Entidades - PMCMV-E. Brasília, 24 de março de 2017. Seção 1, p.108.
- MONTES, María Andrea Triana. **Abordagem Integrada no Ciclo de Vida de Habitações de Interesse Social considerando Mudanças Climáticas**. 2016. 573 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- NOI, Claudia di; CIROTH, Andreas; SROCKA, Michael. **OpenLCA 1.7: Comprehensive User Manual**. Berlim: GREENDELTA, 2017. 104 p.
- PBE EDIFICA (São Paulo). Grupo Técnico Para Melhoria da Eficiência Energética nas Edificações (Ed.). **O que é a etiqueta PBE Edifica?** Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>>. Acesso em: 12 mar. 2018.
- PEREIRA, Cláudia Donald; GHISI, Enedir. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p.3391-3399, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.001>.
- PRÉ SUSTAINABILITY (Holanda). **About SimaPro**. 2018. Disponível em: <<https://simapro.com/>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- PROGRAMAS DE EMPLEO Y JUVENTUD PEJ PA. Proyecto de Energía Solar Sto. Tórnas. Casas Solares 1: Manual de Construcción. **Energía Solar en los Andes**. Peru: Asociación Religiosa Programas de Empleo y Juventud Prelatura de Sicuani, 2009. p. 1-79.
- RAMESH, T.; PRAKASH, Ravi; SHUKLA, K.k. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p.1592-1600, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>.
- RASHID, Ahmad Faiz Abd; YUSOFF, Sumiani. A review of life cycle assessment method for building industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 244-248, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.043>.
- RUIVO, Ana. **Apostila de introdução à construção com terra crua**. Baixo Impacto Arquitetura e ADOBERIA, 41 f. Florianópolis, 2015.
- SANTOS, Adriana de Paula Lacerda; ANTUNES, Cristiano Eduardo; BALBINOT, Guilherme Bastos. Levantamento de Quantitativos de Obras: Comparação Entre o



Método Tradicional e Experimentos em Tecnologia Bim. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Florianópolis, v. 6, n. 12, p.134-155, out. 2014. Semestral.

SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO. Ministério das Cidades. **Especificações Mínimas Unidades Habitacionais**. 2016. Disponível em: <<http://www.minhacasaminhavidagov.br/habitacao-cidades/programa-minha-casa-minha-vida-pmcmv/como-participar/empresas/230-snh-secretaria-nacional/minha-casa-minha-vida/4192-especificacoes-tecnicas-2>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

TCPO, **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. - 13 ed. - São Paulo: Pini, 2010. ISBN 978-85-7266-201-7.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus™ Version 8.8.0 Documentation: Getting Started**. Estados Unidos, 2017. 86 p.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus™ Version 8.8.0 Documentation: Engineering Reference**. Estados Unidos, 2018. 1716 p.

VAN OOTEGHEM, Kevin; XU, Lei. The life-cycle assessment of a single-storey retail building in Canada. **Building and Environment**, v. 49, p.212-226, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.028>.

WANG, Haidong; ZHAI, Zhiqiang (john). Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 319-335, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.080>.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Desempenho térmico de esquadrias**. Florianópolis: II Fórum de Desenvolvimento Urbano e Construção Sustentável, 2015.

WEBER, F.S.; MELO, A.P.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LABEEE, 2017. 52p. [<http://www.labee.ufsc.br/node/714>]

### ANEXO A – Rotinas de operação da edificação

Tabela 15 - Fração de moradores por hora nos cômodos de longa permanência para o verão

Hora	Cozinha		Sala			Dormitórios	
	DS	FS	DS	Sábado	Domingo	DS	FS
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,9
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,8
9	0,5	0,5	0,0	0,2	0,4	0,3	0,5
10	0,4	0,5	0,0	0,2	0,4	0,2	0,4
11	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3
12	0,2	0,4	0,0	0,5	0,2	0,0	0,2
13	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0
14	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,1	0,1
15	0,4	0,5	0,0	0,5	0,5	0,1	0,1
16	0,4	0,0	0,0	0,5	0,5	0,1	0,1
17	0,4	0,0	0,0	0,5	0,5	0,1	0,0
18	0,0	0,0	0,4	0,5	0,5	0,0	0,0
19	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0
20	0,5	0,5	0,9	1,0	1,0	0,0	0,0
21	0,4	0,4	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,8	1,0	1,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5
24	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,7	0,8

Fonte: Baseado em Ghisi et al. (2015)

Tabela 16 - Fração de moradores por hora nos cômodos de longa permanência para o inverno

Hora	Cozinha		Sala			Dormitórios	
	DS	FS	DS	Sábado	Domingo	DS	FS
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,8
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,9
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,9
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,9
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,9
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,9
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,9
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7
9	0,4	0,5	0,0	0,4	0,4	0,2	0,4
10	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,3
11	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
12	0,5	0,5	0,2	0,2	0,4	0,0	0,0
13	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,0	0,0
14	0,5	0,5	0,2	0,3	0,4	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,4	0,5	0,5	0,0	0,1
16	0,0	0,0	0,4	0,5	0,5	0,0	0,0
17	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,4	0,5	0,5	0,0	0,0
19	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0
20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0
21	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2
22	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3
23	0,0	0,0	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,5

Fonte: Baseado em Ghisi et al. (2015)

Tabela 17 - Fração por hora em que as esquadrias estão completamente abertas para  
cômodos de longa permanência

Hora	Verão						Inverno					
	Cozinha		Sala		Dormitórios		Cozinha		Sala		Dormitórios	
	Porta	Janela	Porta	Janela	Porta	Janela	Porta	Janela	Porta	Janela	Porta	Janela
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
7	0,0	0,5	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
8	0,5	0,8	0,4	0,4	1,0	0,5	0,2	0,5	0,0	0,0	0,4	0,5
9	0,5	0,9	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
10	0,9	1,0	0,5	0,5	1,0	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7
11	0,9	1,0	0,5	0,5	1,0	0,9	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8
12	0,9	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8
13	0,9	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8
14	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8
15	0,9	1,0	0,9	0,5	1,0	1,0	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8
16	0,9	1,0	0,9	0,5	1,0	1,0	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8
17	0,9	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8
18	0,9	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7
19	0,9	1,0	0,5	0,5	1,0	0,9	0,5	0,5	0,0	0,5	0,5	0,4
20	0,5	0,8	0,5	0,4	1,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,3	0,5	0,3
21	0,5	0,5	0,5	0,4	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2
22	0,5	0,5	0,5	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0

Fonte: Baseado em Ghisi et al. (2015)

Tabela 18 - Fração de uso de potência da iluminação por hora por cômodo

Hora	Fração de uso		
	Cozinha	Dormitório	Sala
1	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0
18	0,5	0,0	0,5
19	1,0	0,2	0,5
20	0,8	0,3	0,5
21	0,5	0,4	0,5
22	0,3	0,3	0,0
23	0,0	0,1	0,0
24	0,0	0,1	0,0

Fonte: Baseado em Ghisi et al. (2015)

Tabela 19 - Fração de uso de potência de equipamentos por hora por cômodo

Hora	Fração de uso			
	Cozinha	Dormitório	Sala	Banheiro*
1	0,1	0,1	0,0	0,0
2	0,1	0,1	0,0	0,0
3	0,1	0,1	0,0	0,0
4	0,1	0,1	0,0	0,0
5	0,1	0,1	0,0	0,0
6	0,1	0,1	0,0	0,0
7	0,2	0,1	0,1	0,1
8	0,2	0,0	0,1	0,0
9	0,1	0,1	0,2	0,0
10	0,1	0,1	0,2	0,0
11	0,2	0,1	0,1	0,0
12	0,2	0,1	0,1	0,0
13	0,1	0,1	0,2	0,0
14	0,1	0,1	0,1	0,0
15	0,1	0,2	0,2	0,0
16	0,1	0,2	0,2	0,0
17	0,1	0,2	0,3	0,0
18	0,1	0,2	0,2	0,0
19	0,1	0,3	0,1	0,1
20	0,1	0,3	0,2	0,0
21	0,1	0,3	0,2	0,0
22	0,1	0,3	0,2	0,0
23	0,1	0,3	0,2	0,0
24	0,1	0,2	0,1	0,0

\*considerado somente chuveiro

Fonte: Baseado em Ghisi et al. (2015)

Tabela 20 – Nível de atividade metabólica conforme atividade desenvolvida por cômodo

Ambiente	Cozinha	Dormitório	Sala
Categoria	<i>Cooking</i>	<i>Seated, quiet</i>	<i>Seated, quiet</i>
W/m <sup>2</sup> .pessoa	105	60	60
W/pessoa	189	108	108

Área da pele considerada: 1,80 m<sup>2</sup>

Fonte: Baseado em ABNT (2008) e ASHRAE (2013)

## APÊNDICE A – Características das obras do PMCMV em Florianópolis

Tabela 21 – Características padrão dos imóveis com financiamento pelo Programa Minha Casa Minha Vida na região da Grande Florianópolis

Tipo	Área Total (m <sup>2</sup> )	Local	Quarto	Banheiro	Área de Serviço	Sala/Cozinha
Apartamento	60	Estreito	2	1	Anexa à cozinha	Separado
Apartamento	64	Ingleses	2	1	Anexa à cozinha	Integrado
Apartamento	66	Ingleses	1	1	Anexa à cozinha	Integrado
Apartamento	62	Ingleses	2	1	Anexa à cozinha	Integrado
Apartamento	70	Ingleses	2	1	Anexa à cozinha	Integrado
Apartamento	54	Ingleses	2	1	Anexa à cozinha	Integrado
Apartamento	52	Vargem Grande	2	2	Anexa à cozinha	Integrado
Apartamento	54	Vargem do Bom Jesus	2	1	Anexa à cozinha	Integrado
Apartamento	50	Palhoça	2	1	S/Informação	Integrado
Apartamento	54	Vargem Grande	2	1	Anexa à cozinha	Integrado
Apartamento	74	Vargem Pequena	2	2	Anexa à cozinha	Integrado
Casa	55	São José	2	1	Externa	Integrado
Casa	54	São José	2	1	Externa	Integrado
Casa	74	São José	2	2	Externa	Integrado
Casa	65	São José	2	1	Externa	Integrado
Casa	70	São José	2	2	Externa	S/Informação
Casa	70	São José	2	2	Externa	Integrado
Casa	83	São José	2	2	S/Informação	Integrado
Casa	62	São José	2	1	S/Informação	S/Informação
Casa	57	Palhoça	2	1	S/Informação	Integrado
Casa	52	Palhoça	2	1	Anexa à cozinha	Integrado
Casa	54	Palhoça	2	1	S/Informação	Integrado

## APÊNDICE B - Inventário do ciclo de vida (ICV)

Tabela 22 – Inventário do ciclo de vida para a parede com tijolos cerâmicos

Parede de tijolo cerâmico					
Material	Tijolo	Cimento	Cal hidratada	Areia	-
Massa (Kg)	4898,35	839,76	2192,76	1529,09	-
Volume (m <sup>3</sup> )	-	0,70	1,29	6,02	-
Massa por área (Kg/m <sup>2</sup> )	48,46	8,31	21,70	15,13	-
Material	Água	Barra de aço	Selador acrílico	Tinta látex acrílica	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	1306,38	199,76	42,16	31,80	2606,46
Volume (m <sup>3</sup> )	1,53	-	0,00	0,00	-
Massa por área (Kg/m <sup>2</sup> )	12,93	1,98	0,42	0,31	25,79

Tabela 23 - Inventário do ciclo de vida para a parede de tijolos de adobe

Parede de tijolo de adobe				
Material	Terra	Serragem	Água	Areia
Massa (Kg)	29275,87	1358,15	12570,98	8342,88
Volume (m <sup>3</sup> )	22,52	9,41	12,51	5,96
Massa por área (Kg/m <sup>2</sup> )	289,66	13,44	124,38	82,55
Material	Cal hidratada	Barra de aço	Cal pintura	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	2296,19	197,01	26,95	1583,26
Volume (m <sup>3</sup> )	1,35	-	0,04	-
Massa por área (Kg/m <sup>2</sup> )	22,72	1,95	0,27	15,66



Tabela 24 - Inventário do ciclo de vida para a parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento

Parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento de argamassa								
Material	Tijolo	Cimento	Cal hidratada	Areia	Água	Selador acrílico	Tinta látex acrílica	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	5160	763,31	2050,88	7734,64	1399,77	42,16	31,80	1065,52
Volume (m³)	-	0,64	1,21	5,52	1,40	0,03	0,02	-
Massa por área (Kg/m²)	51,05	7,55	20,29	76,53	13,85	0,42	0,31	10,54

Tabela 25 - Inventário do ciclo de vida para a parede de bloco de concreto celular autoclavado sem revestimento

Parede de bloco de concreto celular autoclavado sem revestimento								
Material	Tijolo	Cimento	Cal hidratada	Areia	Água	Selador acrílico	Tinta látex acrílica	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	7738,74	67,08	190,06	704,34	127,45	42,16	31,80	846,29
Volume (m³)	-	0,06	0,11	0,50	0,13	0,03	0,02	-
Massa por área (Kg/m²)	76,57	0,66	1,88	6,97	1,26	0,42	0,31	8,37

Tabela 26 - Inventário do ciclo de vida para janela em madeira

Janela com esquadria em madeira						
Material	Vidro	Esquadria	Cimento	Areia	Água	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	592,20	73,00	23,40	81,90	14,82	7,53
Volume (m³)	0,24	-	0,02	0,06	0,01	-
Massa por área (Kg/m²)	94,90	11,70	3,75	13,13	2,38	1,21

Tabela 27 - Inventário do ciclo de vida para janela em alumínio

Janela com esquadria em alumínio				
Material	Vidro	Esquadria e caixilho	Espuma	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	592,20	55,85	1,56	49,44
Volume (m³)	0,24	-	-	-
Massa por área (Kg/m²)	94,90	8,95	0,25	7,92

Tabela 28 - Inventário do ciclo de vida para janela em PVC

Janela com esquadria em PVC				
Material	Vidro	Esquadria e caixilho	Espuma	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	592,20	97,80	1,56	60,12
Volume (m³)	0,24	-	-	-
Massa por área (Kg/m²)	94,90	0,97	0,02	0,59

Tabela 29 - Inventário do ciclo de vida para porta de madeira

Porta de madeira					
Materiais	Madeira	Cimento	Areia	Água	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	179,20	24,96	81,90	15,07	111,836
Volume (m³)	-	0,02	0,06	0,02	-
Massa por área (Kg/m²)	18,96	2,64	8,67	1,59	11,83

Tabela 30 - Inventário do ciclo de vida para porta de alumínio

Porta de alumínio			
Material	Alumínio	Espuma	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	182,75	0,85	134,89
Volume (m³)	-	-	-
Massa por área (Kg/m²)	19,34	0,09	14,27

Tabela 31 - Inventário do ciclo de vida para porta de PVC

Porta de PVC			
Total	PVC	Espuma	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	151	0,85	80,45
Volume (m³)	-	-	-
Massa por área (Kg/m²)	15,98	0,09	8,51

Tabela 32 - Inventário do ciclo de vida para cobertura com forro de madeira e telha cerâmica

Forro de madeira e telha cerâmica								
Material	Madeira	Parafuso	Telha cerâmica	Cimento	Cal hidratada	Areia	Água	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	2431,20	64,00	2793,60	40,32	114,24	423,36	76,61	594,97
Volume (m³)	4,05	-	-	0,03	0,07	0,30	0,08	-
Massa por área (Kg/m²)	54,57	1,44	62,71	0,91	2,56	9,50	1,72	13,36
Volume por área (m³/m²)	0,09	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 33 - Inventário do ciclo de vida para cobertura com forro de madeira e telha de fibrocimento

Forro de madeira e telha de fibrocimento				
Material	Madeira	Parafuso	Telha fibrocimento	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	2431,20	652,80	576	765,11
Volume (m <sup>3</sup> )	4,05	-	-	-
Massa por área (Kg/m <sup>2</sup> )	54,57	14,65	12,93	17,17

Tabela 34 - Inventário do ciclo de vida para cobertura com laje maciça de concreto e telha cerâmica

Laje maciça e telha cerâmica				
Material	Cimento	Areia	Aço	Água
Massa (Kg)	472,80	2441,60	5341,13	891,47
Volume (m <sup>3</sup> )	0,39	1,74	0,68	0,89
Massa por área (Kg/m <sup>2</sup> )	10,61	54,81	119,89	20,01
Material	Telha cerâmica	Cal hidratada	Madeira	Transporte (tKm)
Massa (Kg)	2793,60	114,24	555,82	3431,18
Volume (m <sup>3</sup> )	-	0,07	0,93	-
Massa por área (Kg/m <sup>2</sup> )	62,71	2,56	12,48	77,02

## APÊNDICE C – Seleção dos conjuntos de menor valor de impacto nas categorias de dano

Tabela 35 – Relação das 54 edificações selecionadas com menor impacto nas categorias de dano

Conjunto	Orientação	Categorias de dano			
		Saúde humana (DALY)	Qualidade do ecossistema (PDF*m²*yr)	Mudanças climáticas (Kg CO <sub>2</sub> eq)	Recursos (MJ primária)
Tijolo de adobe /Madeira /Fibrocimento/forro	0°	0,06232	14522,64	79450,29	632478,93
Tijolo de adobe /Madeira /Cerâmica /forro	0°	0,06240	14406,75	79302,54	630500,11
Tijolo de adobe /Madeira /Cerâmica /laje	0°	0,06136	11724,66	81195,27	649622,51
Tijolo de adobe /Alumínio /Fibrocimento/forro	0°	0,06288	14859,19	81112,31	646892,77
Tijolo de adobe /Alumínio /Cerâmica /forro	0°	0,06293	14739,16	80936,61	644699,78
Tijolo de adobe /Alumínio /Cerâmica /laje	0°	0,06189	12057,07	82829,35	663822,18
Tijolo de adobe /PVC /Fibrocimento/forro	0°	0,06237	14546,85	79909,98	647510,14
Tijolo de adobe /PVC /Cerâmica /forro	0°	0,06242	14426,81	79734,28	645317,16
Tijolo de adobe /PVC /Cerâmica/laje	0°	0,06141	11748,86	81654,97	664653,72
BCCA10 /Madeira /Cerâmica /laje	0°	0,06410	11773,69	83416,28	664057,20
BCCA10 /PVC /Cerâmica /laje	0°	0,06416	11797,90	83875,98	679088,41
BCCA15 /Madeira /Fibrocimento/forro	0°	0,06338	14690,17	81267,06	650558,94
BCCA15 /Madeira /Cerâmica /forro	0°	0,06343	14570,13	81091,37	648365,95
BCCA15 /Madeira /Cerâmica /laje	0°	0,06190	11796,89	82369,11	662776,75

Conjunto	Orientação	Categorias de dano			
		Saúde humana (DALY)	Qualidade do ecossistema (PDF*m <sup>2</sup> *yr)	Mudanças climáticas (Kg CO <sub>2</sub> eq)	Recursos (MJ primária)
BCCA15 /Alumínio /Cerâmica /laje	0°	0,06246	12133,45	84031,14	677190,59
BCCA15 /PVC /Cerâmica /laje	0°	0,06195	11821,10	82828,81	677807,96
Tijolo de adobe /Madeira /Fibrocimento/forro	90°	0,06310	14667,65	80428,67	639974,66
Tijolo de adobe /Madeira /Cerâmica /laje	90°	0,06216	11873,81	82201,62	657332,40
Tijolo de adobe /Alumínio /Cerâmica /forro	90°	0,06365	14871,73	81831,14	651553,02
Tijolo de adobe /PVC /Fibrocimento/forro	90°	0,06315	14691,86	80888,37	655005,88
Tijolo de adobe /PVC /Cerâmica /forro	90°	0,06318	14567,68	80684,71	652598,72
Tijolo de adobe /PVC /Cerâmica/laje	90°	0,06217	11889,73	82605,40	671935,29
BCCA10 /Madeira /Cerâmica/laje	90°	0,06480	11902,13	84282,86	670696,28
BCCA10 /PVC /Cerâmica/laje	90°	0,06485	11926,34	84742,55	685727,49
BCCA15 /Madeira /Cerâmica/laje	90°	0,06268	11941,90	83347,50	670272,48
BCCA10 /PVC /Cerâmica/laje	90°	0,06266	11953,68	83723,33	684661,20
Tijolo de adobe /Madeira /Fibrocimento/forro	180°	0,06252	14559,93	79701,87	634406,41
Tijolo de adobe /Madeira /Cerâmica/forro	180°	0,06257	14439,89	79526,17	632213,42
Tijolo de adobe /Madeira /Cerâmica/laje	180°	0,06154	11757,80	81418,91	651335,82
Tijolo de adobe /Alumínio /Fibrocimento/forro	180°	0,06324	14925,48	81559,58	650319,39
Tijolo de adobe /Alumínio /Cerâmica/forro	180°	0,06329	14805,45	81383,88	648126,40

Conjunto	Orientação	Categorias de dano			
		Saúde humana (DALY)	Qualidade do ecossistema (PDF*m <sup>2</sup> *yr)	Mudanças climáticas (Kg CO <sub>2</sub> eq)	Recursos (MJ primária)
Tijolo de adobe /Alumínio /Cerâmica/laje	180°	0,06229	12131,64	83332,52	667677,13
Tijolo de adobe /PVC /Fibrocimento/forro	180°	0,06259	14588,28	80189,52	649651,78
Tijolo de adobe /PVC /Cerâmica/forro	180°	0,06265	14468,24	80013,82	647458,79
Tijolo de adobe /PVC /Cerâmica/laje	180°	0,06161	11786,15	81906,55	666581,19
BCCA10 /Madeira /Cerâmica/laje	180°	0,06426	11802,69	83611,96	665556,35
BCCA10 /PVC /Cerâmica/laje	180°	0,06433	11831,04	84099,61	680801,72
BCCA15 /Madeira /Cerâmica/forro	180°	0,06361	14603,28	81315,00	650079,26
BCCA15 /Madeira /Cerâmica/laje	180°	0,06208	11830,04	82592,74	664490,06
BCCA15 /PVC /Cerâmica/laje	180°	0,06215	11858,39	83080,39	679735,43
Tijolo de adobe /Madeira /Fibrocimento/forro	270°	0,06283	14617,93	80093,23	637404,70
Tijolo de adobe /Madeira /Cerâmica/forro	270°	0,06282	14485,46	79833,67	634569,22
Tijolo de adobe /Madeira /Cerâmica/laje	270°	0,06180	11807,52	81754,35	653905,78
Tijolo de adobe /Alumínio /Fibrocimento/forro	270°	0,06335	14946,20	81699,35	651390,21
Tijolo de adobe /Alumínio /Cerâmica/forro	270°	0,06327	14801,30	81355,92	647912,24
Tijolo de adobe /Alumínio /Cerâmica/laje	270°	0,06238	12148,21	83444,33	668533,79
Tijolo de adobe /PVC /Fibrocimento/forro	270°	0,06284	14633,85	80497,01	652007,58
Tijolo de adobe /PVC /Cerâmica/forro	270°	0,06280	14497,24	80209,50	648957,94
Tijolo de adobe /PVC /Cerâmica/laje	270°	0,06181	11823,44	82158,14	668508,67

Conjunto	Orientação	Categorias de dano			
		Saúde humana (DALY)	Qualidade do ecossistema (PDF*m <sup>2</sup> *yr)	Mudanças climáticas (Kg CO <sub>2</sub> eq)	Recursos (MJ primária)
BCCA10 /Madeira /Cerâmica/laje	270°	0,06464	11873,13	84087,18	669197,13
BCCA10 /PVC /Cerâmica/laje	270°	0,06458	11876,62	84407,10	683157,52
BCCA15 /Madeira /Cerâmica/laje	270°	0,06237	11883,90	82956,15	667274,19
BCCA15 /PVC /Cerâmica/laje	270°	0,06240	11903,96	83387,88	682091,24



## APÊNDICE D – Influência das categorias de impacto nas categorias de dano

Figura 31 – Valor de cada categoria de impacto na categoria de dano de saúde humana



Figura 32 - Valor de cada categoria de impacto na categoria de dano de qualidade do ecossistema



Figura 33 - Valor de cada categoria de impacto na categoria de dano de mudanças climáticas

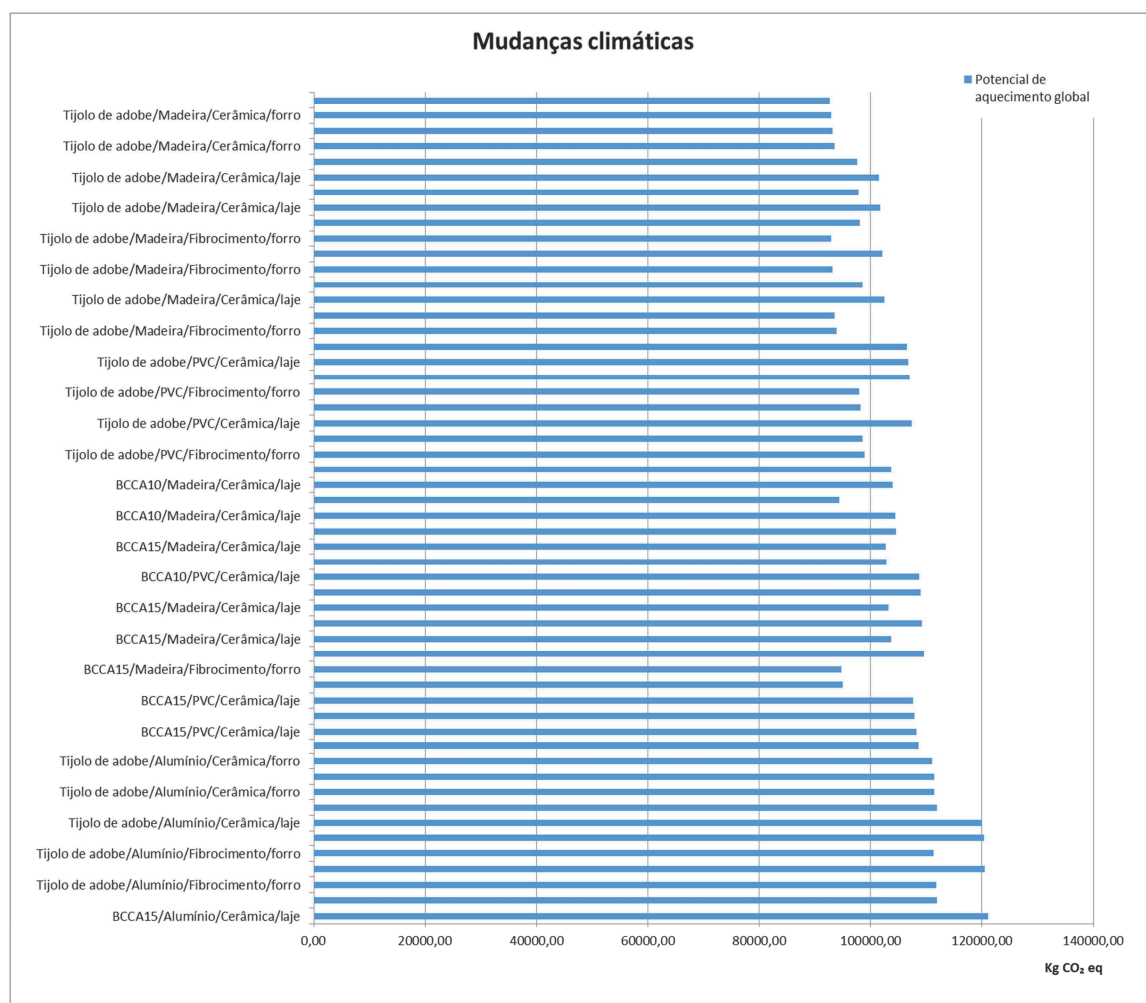


Figura 34 - Valor de cada categoria de impacto na categoria de dano de recursos

